

nueva «revolución científica» preconizada para la teoría económica (en la más absoluta ignorancia de la obra de Georgescu-Roegen) por el gran geofísico J. Tuzo Wilson (1908-1993), a su vez el padre, tras haber leído a Thomas Kuhn, del concepto de «revolución wegeneriana» en el campo de las ciencias de la Tierra<sup>80</sup>. Más allá de la revolución wegeneriana, las ciencias de la Tierra aún tienen pendiente el reconocimiento de la «revolución vernadskiana», la visión planetaria de la Biosfera, reavivada por la célebre «hipótesis Gaia» de James Lovelock y Lynn Margulis. Sin embargo, ya es patente que la actualidad científica en la que se sitúa Georgescu-Roegen deja expedita la vía para esta reconciliación tan apremiante de las ciencias de la Tierra, de las ciencias de la Vida y de las ciencias del Hombre. La ciencia económica no puede constituir una excepción; debe quedar vinculada a este nuevo Renacimiento. El genio de N. Georgescu-Roegen estriba en haber abierto la vía para una articulación distinta entre la revolución carnotiana y la revolución darwiniana y en haber subrayado las inmensas implicaciones prácticas en orden a la supervivencia a largo plazo de la especie humana en este mundo finito representado por la Biosfera; esto es, por el planeta Tierra, el único planeta vivo y «consciente» del sistema solar (y quizá, aunque no estemos en condiciones de afirmarlo, del cosmos).

Un nombre no equivale a un concepto, pero lo inscribe materialmente en la cultura y permite que se difunda. El término *bioeconomía* (que por desgracia circula con otras acepciones) aún no se verbaliza en *The Entropy of Law and the Economic Process*. Georgescu-Roegen no lo maneja hasta mediados de los años setenta. Aparece utilizado con un realce especial en su tercer gran libro, *Energy and Economic Myths: Institutional and Economic Essays* (Nueva York, Pergamon, 1976), que reproduce el título de un artículo suyo conocido y muy polémico<sup>81</sup>. Desde 1976, Georgescu-Roegen trabajaba sobre un nuevo libro cuyo título debía ser *Bioeconomics*. En los comienzos de los años ochenta, Princeton University Press se mostraba muy interesada en publicar este libro de Georgescu-Roegen para contrarrestar el exagerado optimismo del texto del economista Julian Simon, *The Ultimate Resource* (Princeton University Press, 1981). El manuscrito de *Bioeconomics* quedó inconcluso; es deseable que se convierta en el menor plazo posible en un libro póstumo como *History of Economic Analysis* de Schumpeter.

Jacques Grinevald  
Universidad de Ginebra  
Febrero de 1996

<sup>80</sup> J. Tuzo Wilson, 1977, «Overdue: another scientific revolution», *Nature*, 20 de enero, 265, pp. 196-197, citado en J. Grinevald, 1990, «Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Georgescu-Roegen», *Ecología Política*, 1, pp. 99-122.

<sup>81</sup> N. Georgescu-Roegen, 1971, «Energy and economic myths», *Southern Economic Journal*, 41, pp. 347-381 (publicado de nuevo en *The Ecologist* en 1974-75); cap. I en *Energy and Economic Myths*. [Traducción española, 1975: «Energía y mitos económicos», *El Trimestre Económico*, 42, pp. 779-836.]

## PREFACIO

La Ley de la Entropía sigue estando rodeada por muchas dificultades conceptuales y por controversias igualmente numerosas. Pero no es ésta la razón por la que la mayor parte de los científicos de la Naturaleza se mostrará de acuerdo en que ocupa una posición excepcional entre todas las leyes de la materia. Sir Arthur Eddington llegó a mantener incluso que la posición es «suprema». Lo verdaderamente importante es que el descubrimiento de la Ley de la Entropía trajo consigo el desmoronamiento del dogma mecanicista de la física clásica, que sostenía que todo lo que sucede en cualquier campo fenomenológico está compuesto exclusivamente de locomoción y que, por tanto, no existe cambio irrevocable alguno en la Naturaleza. Debido precisamente a que esta ley proclama la existencia de un cambio semejante, es por lo que mucho tiempo antes algunos estudiosos se habían percatado ya de su íntima relación con los fenómenos característicos de las estructuras vivas. A estas alturas, nadie podría negar que la economía de los procesos biológicos está regida por la Ley de la Entropía, no por las leyes de la mecánica.

La idea de que también el proceso económico ha de estar íntimamente ligado a la Ley de la Entropía es el origen de la investigación que constituye el objeto de este libro. El examen de numerosos aspectos de esta relación me ha conducido —y conducirá al lector— a muchos campos situados más allá de los límites de la economía. Por este motivo, consideré que la tarea de introducir el tema de este libro debía dejarse a un capítulo especial.

Llegado aquí, debo decir que, a causa precisamente del especial carácter del tema, la elaboración de este libro ha confirmado una antigua idea mía, que prácticamente todas las obras a las que habitualmente calificamos de propias presentan únicamente unos pocos logros originales añadidos en la cima de una montaña de conocimientos recibidos de otros. La revisión de las galeradas ha representado una ocasión única para darme cuenta de la inmensidad de la deuda que tengo con mis maestros y del gran número de éstos. Esa revisión me ha inducido a aprovechar esta oportunidad para expresarles mi gratitud dedicándoles este volumen.

Muchos de mis maestros no verán su nombre grabado en el panteón de los grandes hombres, a pesar de que muchos no serán por ello menos

venerados. Los primeros en esta categoría (y en mi corazón) son mis padres: mi padre, que me enseñó a leer, a escribir y a calcular y que plantó en mí la semilla de la curiosidad intelectual, y mi madre, que, con su ejemplo vivo, me enseñó el valor del trabajo. Gheorghe Rădulescu, mi maestro de enseñanza primaria en una pequeña ciudad de la vieja Rumanía, fomentó con gran habilidad mis primeras inclinaciones matemáticas enseñándome cómo solucionar los «difíciles» problemas que, como aprendí más tarde, se resuelven normalmente a través del álgebra. Entre la larga lista de maestros estimuladores y abnegados que tuve en el Liceo Mănăstirea Dealu, debo mencionar a Grigore Zapan y a Gh. I. Dumitrescu, quienes con enorme amor por su profesión guiaron mis primeros pasos en las matemáticas superiores. Creo que a nivel universitario mi buena suerte estuvo también por encima de la media. Estudié con especialistas cuyos nombres ocupan actualmente un lugar de honor en la historia de la ciencia: Traian Lalescu, Octav Onicescu y G. Țițeica (en Bucarest), Albert Aftalion, Émile Borel, Georges Darmois y Maurice Fréchet (en París) y E. B. Wilson (en EE.UU.). Sin embargo, dos de mis maestros ejercieron la más decisiva influencia sobre mi orientación científica: Karl Pearson, el hombre de extensión saber que sin ayuda de nadie sentó las bases de la ciencia de la estadística, y Joseph A. Schumpeter, cuya visión excepcional del proceso económico combinó armoniosamente el análisis evolutivo cuantitativo con el cualitativo.

No es necesario decir que tengo que considerar también como mis maestros a aquellos de los que aprendí de otra forma, principalmente a través de sus escritos. Al igual que todos, aprendí igualmente mucho de mis colegas profesionales (muchas cosas incluso de mis discípulos). Entre todos ellos, que forman legión, no puedo dejar de señalar particularmente a dos de mis compañeros economistas (y econométricos): Wassily W. Leontief y Paul A. Samuelson.

El lector no precisa insinuación alguna para comprender que un libro de este carácter no puede escribirse como un proyecto de investigación con un calendario definido. Las ideas contenidas en él se fraguaron en mi mente a lo largo de muchos años (tantos como veinte, creo) y en circunstancias muy diversas: a veces mientras dictaba mis clases, a veces mientras trabajaba en el jardín. Varias de esas ideas han aparecido ya en letra impresa, la mayor parte en el estudio introductorio de mi *Analytical Economics*.

A lo largo de todos esos años, la Vanderbilt University me ha dado aliento y me ha proporcionado todo tipo de facilidades para el trabajo, muchas de las cuales se enmarcaron en el Graduate Program in Economic Development. Por todo ello, me encuentro en deuda de modo especial y diverso con mis colegas George W. Stocking, Rendigs Fels, Anthony M. Tang y James S. Worley. Una beca de investigación de la National Science Foundation me ha permitido dedicar la mitad de mi tiempo de docencia

durante año y medio a dar a esta obra su forma actual. Durante esta última fase, estuve ayudado por los señores Aly Alp Erceclawn e Ibrahim Eriş.

Estoy igualmente agradecido a Harvard University Press por haber considerado que merecía la pena ampliar y completar en el presente volumen el estudio introductorio de mi *Analytical Economics*.

Mi agradecimiento final es para mi esposa, que ha sido lector paciente y atento, crítico comprensivo pero constructivo e infatigable corrector de pruebas, y que en el hogar me ha proporcionado una atmósfera propicia para el estudio y el trabajo.

Nicholas Georgescu-Roegen  
Vanderbilt University  
Julio de 1970

NOTA: En las notas a pie de página, *AE* remite a mi *Analytical Economics: Issues and Problems*, publicada por Harvard University Press en 1966.

## INTRODUCCIÓN

Ninguna otra ciencia sino la economía ha sido criticada por sus propios servidores de forma tan abierta y tan incesante. Los motivos de insatisfacción son numerosos, pero el más importante de ellos tiene que ver con la ficción del *homo oeconomicus*. El principal motivo de queja es que tal ficción despoja a la conducta humana de toda propensión cultural, lo que equivale a decir que, en su vida económica, el hombre actúa mecánicamente. Esta es la razón por la que se califica habitualmente esa deficiencia de perspectiva mecanicista de la economía moderna. La crítica es irrefutable, pero el pecado mecanicista de la ciencia económica es mucho más profundo de lo que esa crítica insinúa, ya que el defecto sigue estando presente incluso aunque únicamente se contemple el proceso económico desde un punto de vista puramente físico. La realidad es que, en la medida en que actualmente se manifiesta, la economía es mecanicista en el mismo sentido estricto en que por lo general creemos que solamente lo es la mecánica clásica.

En este sentido, la mecánica clásica es mecanicista, porque no puede tener en cuenta la existencia de cambios cualitativos en la Naturaleza de carácter permanente, ni aceptar tal existencia como hecho independiente en sí mismo. La mecánica entiende únicamente de la locomoción, y ésta es reversible y no cualitativa. El mismo impedimento se introdujo en la economía moderna por parte de sus fundadores, quienes, según el testimonio de Jevons y Walras, no tenían otra aspiración sino la de crear una ciencia económica de acuerdo con el modelo exacto de la mecánica. Otra prueba aún más elocuente del enorme entusiasmo por la mecánica que reinaba entre los primitivos constructores de la economía la proporcionó Irving Fisher, quien se tomó la molestia de erigir un sistema muy complicado nada más que para demostrar el carácter esencialmente mecánico del comportamiento del consumidor<sup>1</sup>.

Esos primitivos constructores tuvieron tanto éxito con su magno plan que la idea del proceso económico como analogía mecánica ha venido desde entonces dominando por completo el pensamiento económico. De

<sup>1</sup> Irving Fisher, *Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices* (New Haven, 1925), pp. 38 y s. y *passim*. La obra se publicó originalmente en 1892.

acuerdo con este esquema, el proceso económico no produce cambio cualitativo alguno ni se ve afectado por el cambio cualitativo del entorno en que se encuentra anclado. Tal como lo describen los manuales más elementales, es un proceso aislado, independiente y ahistórico, un flujo circular entre producción y consumo, sin entradas ni salidas. Los economistas hablan a veces de recursos naturales; ahora bien, la realidad sigue siendo que, como quiera que se mire, en ninguno de los numerosos modelos económicos existentes hay una variable que represente la perpetua contribución de la Naturaleza. El contacto que algunos de esos modelos tienen con el entorno natural viene limitado a la tierra ricardiana, definida de forma expresa como factor inmune a todo cambio cualitativo; podríamos muy bien hacer referencia a ella simplemente como «espacio». Ahora bien, nadie debe engañarse sobre la extensión del pecado mecanicista: los esquemas marxianos de la reproducción económica ni siquiera incluyen esa incolora coordenada. Así pues, utilizando un eslogan tópico para describir mordazmente la situación, puede decirse que las dos corrientes principales del pensamiento económico contemplan el proceso económico en relación con la Naturaleza como un negocio «sin aportaciones ni rendimiento».

La fascinante facilidad con la que los economistas neoclásicos dejaron a los recursos naturales fuera de su propia representación del proceso económico puede que no sea extraña al dogma marxiano de que todo lo que nos ofrece la Naturaleza es gratuito. Una explicación más verosímil de ese caso y en especial de la ausencia de todo intento apreciable de superar la omisión es que la analogía «ni aportaciones, ni rendimiento» beneficia a la perspectiva de la vida económica que tiene el hombre de negocios, y ello porque, si solamente se contempla el dinero, lo único que puede verse es que éste va precisamente de una mano a otra: excepto en caso de un accidente lamentable, nunca sale del proceso económico. Por otro lado, posiblemente la ausencia de toda dificultad en la obtención de materias primas por parte de aquellos países en los que creció y floreció la economía moderna fue otra razón para que los economistas hayan seguido estando ciegos ante ese decisivo factor económico. Tampoco las guerras desencadenadas por las mismas naciones para asegurarse el control de los recursos naturales del mundo hicieron despertar a los economistas de su sueño<sup>2</sup>.

En resumen, la masiva adhesión de casi todos y cada uno de los economistas de los últimos cien años al dogma mecanicista sigue siendo un enigma histórico. Evidentemente, es cierto que físicos, matemáticos y filósofos

<sup>2</sup> Como colofón a todos los fascinantes hechos de esta historia, hay que decir que, no más de seis años antes de que Jevons publicase sus precursoras *Lectures*, había escrito un análisis altamente interesante de las consecuencias que tendría para Gran Bretaña un rápido agotamiento de sus reservas carboníferas. *The Coal Question*, editada por A. W. Flux (3.ª edición, Londres, 1906), publicada originalmente en 1865, fue la principal obra económica de W. Stanley Jevons.

fueron unánimes al cantar las glorias de la mecánica como el máximo triunfo de la razón humana. Ahora bien, en la época en que Walras y Jevons empezaron a erigir las claves de la economía moderna, una espectacular revolución de la física había provocado ya la ruina del dogma mecanicista tanto en las ciencias de la Naturaleza como en la filosofía. Y el hecho curioso es que ninguno de los arquitectos de «la mecánica de la utilidad y del egoísmo» y tampoco ninguno de los constructores de su modelo más moderno parece haber sido en algún momento consciente de esa ruina. De otro modo, no podría entenderse por qué se aferraron al sistema mecanicista con el fervor con que lo hicieron. Todavía no hace mucho, incluso un economista del refinamiento filosófico de Frank H. Knight calificaba a la mecánica de «ciencia hermana» de la economía<sup>3</sup>.

La revolución es una situación muy recurrente en la física. La revolución que nos interesa aquí se inició cuando los físicos reconocieron el hecho elemental de que el calor se mueve siempre por sí mismo sólo en una única dirección, desde el cuerpo más caliente hacia el más frío, lo que llevó a reconocer la existencia de fenómenos que no pueden reducirse a la locomoción ni explicarse, por tanto, por la mecánica. De este modo, apareció una nueva rama de la física, la termodinámica, y una nueva ley, la Ley de la Entropía, ocupó su lugar junto a —en lugar de frente a— las leyes de la mecánica newtoniana.

Ahora bien, desde el punto de vista de la ciencia económica, la importancia de esta revolución supera al hecho de que acabó con la supremacía de la epistemología mecanicista en la física. El hecho significativo para el economista consiste en que la nueva ciencia de la termodinámica comenzó como física del valor económico y, en esencia, puede seguir contemplándose en ese sentido. La Ley de la Entropía por sí misma aparece como la de carácter más económico entre todas las leyes de la Naturaleza. Es desde la perspectiva de estos desarrollos de la principal ciencia de la materia donde se exterioriza por completo el carácter fundamentalmente no mecanicista del proceso económico. Como ya he puesto de relieve en el ensayo introductorio a mi obra *Analytical Economics*, sólo un análisis de la íntima relación existente entre la Ley de la Entropía y el proceso económico puede hacer surgir a la superficie los aspectos categóricamente cualitativos para los que no tiene cabida la analogía mecánica de la economía moderna. El objeto de aquel ensayo —examinar esa relación con el propósito de llenar una notable laguna de la disciplina económica— se va a continuar persiguiendo en el presente volumen, con mayor detalle y en direcciones más variadas.

<sup>3</sup> Frank H. Knight, *The Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), p. 85.

El hecho de que en todo aspecto del comportamiento humano se encuentre involucrada una ley de la Naturaleza es tan habitual que no debemos esperar que el estudio de la influencia de la Ley de la Entropía sobre las actuaciones económicas humanas presentase complicaciones inusuales. A pesar de ello, aparecen múltiples caminos casi en el mismo momento en que se empieza a abordar el problema. Además, esos caminos llevan más allá de los límites no sólo de la economía sino hasta de las ciencias sociales, y si, no obstante, se hace el esfuerzo de explorarlos aun de modo superficial, se descubre que incluso en algunas áreas de las ciencias de la Naturaleza surgen problemas que por regla general se consideran específicos de la economía (o de las ciencias sociales). Cualquier investigador encontraría difícil cerrar los ojos ante un panorama tan excitante y seguir actuando imperturbablemente en su forma habitual.

No puede dejar de decirse que emprender un proyecto de semejantes características exige aventurarse en territorios distintos del propio, en campos en los que no se está capacitado para hablar. En esta situación, lo más que se puede hacer es exponer las obras de las autoridades consagradas de cada campo ajeno y, en consideración al lector, no suprimir ninguna referencia a las fuentes (a pesar del actual hábito bibliográfico de reducir al mínimo el número de notas al pie o incluso de suprimirlas por completo). Incluso así, se corren riesgos apreciables, pero decididamente merece la pena emprender el proyecto. Se demuestra que la relación existente entre el proceso económico y la Ley de la Entropía constituye solamente un aspecto de un hecho de carácter más general, que esa ley es la base de la *economía* de la vida a todos los niveles. A partir del mismo análisis, han de aprenderse algunas lecciones epistemológicas, todas ellas convergentes hacia una conclusión general que debería interesar a todo científico y filósofo y no sólo al estudioso de los fenómenos vitales (como lo es el economista). Esa conclusión es que en la realidad únicamente la locomoción es no categórica y ahistórica: todo lo demás es Cambio en el más amplio sentido de la palabra.

Para algunos, la expresión «entropía» puede parecer esotérica. Es posible que lo fuera alguna vez, pero en la actualidad se está haciendo cada vez más popular en un campo tras otro. Lo que nos tendría que preocupar ahora al enfrentarnos con el término es el hecho de que su significado varía de forma considerable, a veces incluso dentro del mismo terreno intelectual. Solamente en el *Webster's Collegiate Dictionary* se encuentran cuatro entradas distintas bajo la voz «entropía». Esta situación refleja en parte la sumamente insólita historia de la Ley de la Entropía, historia continuamente interrumpida por famosas controversias, algunas de las cuales no han finalizado aún. A la vista de la confusión que se ha ido acumulando en varios campos, puede que hacer un examen previo que contraste los prin-

cipales significados de «entropía» sea útil incluso para el lector ya familiarizado con algunos de ellos.

Está, en primer lugar, la acepción con la que el físico alemán Rudolf Clausius introdujo la «entropía» hace ya más de cien años, acepción que se basa en un sólido cimiento de hechos físicos. Todas las restantes acepciones constituyen una categoría aparte que se sitúa frente a aquella. Estas acepciones se relacionan de modo puramente formal con una sencilla fórmula algebraica que constituye el manto bajo el cual la «entropía» se ha hecho familiar a un número creciente de científicos sociales. Muy recientemente, la expresión —con semejante significado formal— se ha introducido en el espacio visual de los economistas a través de una invitación a incluir en su instrumental una «teoría de la información» especial<sup>4</sup>.

Generalmente se considera que el concepto físico es bastante completo. Si aceptamos lo que afirman algunos especialistas, ni siquiera todos los físicos poseen una comprensión totalmente clara de lo que ese concepto significa exactamente. Sus detalles técnicos son, en efecto, abrumadores, e incluso una definición de un diccionario basta para echar por tierra la curiosidad intelectual: «una medida de la energía no disponible en un sistema termodinámico cerrado relacionada de tal modo con el estado del sistema que un cambio en la medida varía con el cambio en la relación existente entre el incremento de calor admitido y la temperatura absoluta a la que ese calor se absorbe»<sup>5</sup>. Todo lo anterior no altera el hecho de que el carácter de la mayor parte de los fenómenos termodinámicos es tan simple que los legos en la materia pueden comprender sin gran dificultad el concepto de entropía en sus líneas generales.

Tomemos el caso de una anticuada locomotora en la que el calor de la combustión del carbón fluye a la caldera y de ésta a la atmósfera. Un resultado evidente de este proceso es un trabajo mecánico: el tren se ha desplazado de una estación a otra. Ahora bien, el proceso lleva también consigo otros cambios innegables; por de pronto, el carbón se ha transformado en cenizas. Con todo, algo es cierto: no se ha alterado la cantidad total de materia y energía. Esto es lo que dispone la Ley de la Conservación de la Materia y la Energía, que es la Primera Ley de la Termodinámica y que, debe subrayarse, *no* se encuentra en contradicción con ninguna de las leyes de la mecánica. La conclusión únicamente puede ser que el cambio experimentado por la materia y la energía debe ser un cambio *cualitativo*.

Al principio, la energía química del carbón es *libre*, en el sentido de que está *disponible* para producir cierto trabajo mecánico. Sin embargo, en el proceso la energía libre pierde poco a poco esa cualidad. Finalmente,

<sup>4</sup> H. Theil ha dedicado un volumen completo de su obra a exponer esa idea concreta. Véase su *Economics and Information Theory* (Chicago, 1967).

<sup>5</sup> *Webster's Seventh New Collegiate Dictionary*.

siempre se degrada por completo en el conjunto del sistema cuando se convierte en energía disipada, es decir, energía que no podemos emplear ya para el mismo propósito. Evidentemente, el cuadro completo es más complejo y de hecho el mérito de introducir la entropía como nueva variable del sistema reside precisamente en la simplificación y unificación analíticas logradas de ese modo. Incluso así, los otros conceptos, más intuitivos, de energía libre y dependiente nunca han perdido su claro significado, pues, desde una perspectiva que sigue siendo amplia, la entropía es un índice de la cantidad relativa de energía dependiente existente en una estructura aislada o, más exactamente, de cuán equitativamente se distribuye la energía en semejante estructura. En otras palabras, una entropía *alta* implica una estructura en la que la mayor parte de toda su energía es dependiente, y una entropía *baja* una estructura en la que es cierto lo contrario.

La realidad habitual de que el calor fluye siempre por sí mismo desde el cuerpo más caliente hacia el más frío, y nunca al contrario, se generalizó por la Ley de la Entropía, que es la Segunda Ley de la Termodinámica y que se encuentra en contradicción con los principios de la mecánica clásica. Su enumeración completa es increíblemente sencilla; todo lo que dice es que la entropía del Universo (o de una estructura aislada) aumenta constantemente y, me gustaría decir, de forma irrevocable. En vez de eso, podríamos decir que en el Universo hay una degradación cualitativa *continua e irrevocable* de energía libre en energía dependiente. Sin embargo, hoy en día es más probable encontrarse con una moderna interpretación de esa degradación en el sentido de una continua transformación de *orden en desorden*. La idea se basa en la observación de que la energía libre es una estructura ordenada, mientras que la energía dependiente es una distribución desordenada y caótica.

Para completar este retrato habría que destacar que el significado final de la Ley de la Entropía no es que la degradación cualitativa tenga lugar únicamente en relación con el trabajo mecánico realizado conscientemente por algunos seres inteligentes. Como lo pone de manifiesto la energía solar, la degradación entrópica prosigue por sí misma con independencia de si la energía libre se emplea o no para la producción de trabajo mecánico. De este modo, la energía libre de un trozo de carbón se degradará finalmente en energía inútil incluso aunque se deje el trozo en su filón.

Hay buenas razones por las que quiero subrayar (aquí y en otros capítulos de la presente obra) el carácter irrevocable del proceso entrópico. Una de esas razones interesa especialmente al economista. Si el proceso entrópico no fuese irrevocable, esto es, si la energía de un trozo de carbón o de uranio pudiese emplearse una y otra vez hasta el infinito, difícilmente se produciría la escasez en la vida humana. Hasta cierto nivel, incluso un aumento de población no daría lugar a la escasez: la humanidad no tendría más que usar con mayor frecuencia los stocks existentes. Otra de las razo-

nes tiene un interés más general. Se refiere a una de las debilidades humanas, concretamente a nuestra renuencia a reconocer nuestras limitaciones con respecto al espacio, al tiempo y a la materia y la energía. Debido a esa debilidad es por lo que, incluso aunque nadie fuese tan lejos como para sostener que es posible calentar la caldera con cenizas, está periódicamente de moda la idea de que podríamos vencer a la Ley de la Entropía ocultando la baja entropía con ayuda de algún ingenioso mecanismo. Por otra parte, el hombre es propenso a creer que debe existir alguna forma de energía con poder de autopetruarse<sup>6</sup>.

Hay que admitir en todo caso que a los profanos se les lleva a creer erróneamente en la ocultación de la entropía por aquello que los físicos predicán a través de la nueva ciencia conocida como mecánica estadística, pero más adecuadamente descrita como termodinámica estadística. La mera existencia de esta disciplina constituye un reflejo del hecho de que, contra toda evidencia, la mente humana sigue aferrándose con la tenacidad de una ciega desesperación a la idea de una realidad consistente en la locomoción y nada más. Síntoma de esa idiosincrasia fue la trágica lucha de Ludwig Boltzmann por hacer aceptar una ciencia termodinámica basada en unos cimientos híbridos en los que la rigidez de las leyes mecánicas se entretreje con la incertidumbre específica de la noción de probabilidad. Boltzmann se suicidó amargado por la creciente crítica a su idea; pero, tras su muerte, la misma idiosincrasia humana indujo a casi todos a pasar por alto todos los defectos lógicos puestos de manifiesto por esa crítica, de tal modo que la idea de Boltzmann podría llegar a convertirse en una reconocida rama de la física. De acuerdo con esta nueva disciplina, un montón de cenizas podría ser perfectamente capaz de calentar la caldera; igualmente, un cadáver podría resucitar y llevar una segunda vida en un orden exactamente contrario al de la primera. Sólo que las probabilidades de tales sucesos son fantásticamente pequeñas. Si todavía no hemos sido testigos de tales «milagros» —afirman los defensores de la mecánica estadística—, se debe únicamente a que no hemos observado un número suficientemente grande de montones de cenizas o de cadáveres.

Frente a lo que sucede en el caso de la termodinámica clásica, no puede llevarse a cabo ni siquiera una discusión sumaria de la termodinámica estadística sin tener en cuenta numerosos aspectos técnicos, alguno altamente técnico. Ahora bien, incluso en la etapa presente ha de incluirse en este cuadro la principal premisa de Boltzmann. Esa premisa dice que,

<sup>6</sup> Como indica Jevons (*Coal Question*, pp. 106 y s.), en su propia época muchos pensaban que la electricidad tenía semejante facultad. Mi experiencia personal sugiere que algunos economistas (al menos) creen ahora que la energía atómica encaja en ese caso.

aparte de un factor que representa una constante física, la entropía de un gas aislado de  $N$  moléculas viene dada por la fórmula

$$(1) \quad \text{Entropía} = S = \ln W,$$

donde

$$(2) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_s!}$$

y las  $N_i$  representan la distribución de las moléculas del gas entre los  $s$  estados posibles. Y, dado que el coeficiente combinatorio  $W$  constituye un rasgo familiar en el cálculo de probabilidades, la relación (1) se ha interpretado como «la entropía es igual a la probabilidad termodinámica».

De esta forma, el enfoque de Boltzmann abrió las puertas a una serie casi infinita de interpretaciones del significado de la entropía y, consecuentemente, a diferentes definiciones formales de la expresión. Algunos de los seguidores de este enfoque han ido tan lejos como para negar que la Ley de la Entropía exprese una ley natural. En vez de eso, sostienen que refleja únicamente la dificultad de la mente humana para describir un estado que implica un número creciente de detalles. Se trata aquí, realmente, de aguas turbulentas en las que todo usuario del término «entropía» debería navegar con gran cuidado.

Si asumimos la fórmula (1) como definición formal de la entropía, podríamos trasladar este concepto a cualquier situación con la que pudiese asociarse a  $W$  de uno u otro modo. Por poner un ejemplo expresivo, consideremos cinco puntos distintos en un plano. Si hacemos  $N = 5$ ,  $N_1 = 2$  y  $N_2 = 3$ ,  $W$  indica el máximo número de rectas distintas determinadas por esos puntos. Podemos hablar en consecuencia de

$$(3) \quad S = \log_{10} \frac{5!}{2! 3!} = 1$$

como de la «entropía de un pentágono». Se pone así de manifiesto lo fácil que resulta inventar significados de «entropía» totalmente vacíos de contenido.

Sin embargo, la aparición de (1) en problemas relacionados con la transmisión de secuencias de señales (o de símbolos) constituye una situación normal que no debería sorprendernos: si el número de señales distintas es  $s$ ,  $W$  será el número de secuencias distintas de longitud  $N$  en las que cada símbolo  $i$ -ésimo entra  $N_i$  veces. Lo que tendría que sorprendernos es que  $S$  se ha equiparado a la *cantidad de información* contenida en tal secuencia. De acuerdo con esta ecuación, si cogemos, por ejemplo, los *Principia Mathematica* de Newton y mezclamos revueltamente sus letras y sím-

bolos, ¡el resultado sigue representando la misma cantidad de información! Mayor perplejidad causa todavía otro argumento en virtud del cual la información total se identifica con la *negentropía* (es decir, el valor negativo de la entropía física).

El concepto de entropía ha penetrado incluso en campos en los que no hay espacio alguno para el análisis combinatorio y, en consecuencia, para  $W$ ; esto se debe al hecho de que la más popular definición del concepto como una «medida» de la cantidad de información viene dada por una transformación especial de (1). La definición es<sup>7</sup>

$$(4) \quad E = - \sum f_i \log f_i$$

donde  $f_i > 0$  para cada  $i$  y  $\sum f_i = 1$ .

Esta expresión posee varias propiedades de interés que explican la atracción que ha ejercido entre muchos pensadores. Ahora bien, su rasgo más interesante es que puede aplicarse a cualquier distribución porcentual, por ejemplo, a la distribución de las exportaciones de un país por lugares de destino o de la renta personal por tramos de renta. Es precisamente a través de tal complicada metamorfosis, de la que no todos los que utilizan el término «entropía» pueden ser conscientes, como hemos podido llegar a hablar de la *cantidad de información* de casi todos los datos estadísticos. Y seguimos marchando resueltamente sin siquiera darnos cuenta de que esa confusión terminológica nos fuerza a decir, por ejemplo, que en un país en el que la renta está más equitativamente distribuida ¡las estadísticas de la distribución de la renta contienen mayor cantidad de información!<sup>8</sup>.

El código lingüístico de Humpty Dumpty —que permite emplear una palabra con cualquier significado que se desee— se invoca con excesiva frecuencia como suprema autoridad sobre la prerrogativa terminológica, pero nadie parece haber protestado de que por regla general la única consecuencia de esa prerrogativa es la confusión. Cierta tendencia a la publicidad puede haber sido el origen de que el valor numérico de expresiones como la (1) o la (4) se represente por «cantidad de información». Sea como sea, esa elección terminológica es probablemente la más desafortunada de la historia de la ciencia.

Puede verse ahora por qué es indispensable subrayar que la postura adoptada en el presente estudio es la de que en el mundo físico existe una coordenada que se corresponde con el concepto Clausiano de entropía y

<sup>7</sup> Esta transformación supone que todo  $N_i$  es lo suficientemente grande para que se le aproxime  $N_i!$  a través de la fórmula de Stirling. Esta fórmula se reproduce en el Apéndice G, nota 29, del presente volumen.

<sup>8</sup> Esta afirmación se deriva del hecho de que la propiedad reflejada de modo inequívoco por  $E$  es el grado de uniformidad (de modo indirecto, el grado de concentración) de la distribución descrito por los  $f_i$ . Véase el Apéndice B de esta obra.

que no es reducible a la locomoción y mucho menos aún a la probabilidad o a cualquier elemento subjetivo. Otra forma de expresar la misma cosa es que la Ley de la Entropía no es ni un teorema deducible de los principios de la mecánica clásica ni un reflejo de algunas de las imperfecciones o ilusiones humanas. Se trata, por el contrario, de una ley independiente y exactamente tan inexorable como, por ejemplo, la ley de la atracción universal. El fenómeno entrópico de un trozo de carbón reduciéndose irrevocablemente a cenizas no es ni un flujo de probabilidad desde un valor bajo a otro alto, ni un aumento de la ignorancia del espectador, ni la ilusión humana de sucesión temporal.

Como iremos comprobando progresivamente a lo largo de este trabajo, la posición ocupada por la Ley de la Entropía entre las restantes leyes de la Naturaleza tiene carácter único desde numerosos puntos de vista; y este hecho justifica la abundancia de cuestiones y problemas que abruma al estudioso interesado en enjuiciar la importancia de la Ley de la Entropía más allá del campo puramente físico.

Nadie podrá negar que, junto a sus conceptos conexos de energía libre y energía dependiente, la entropía constituye una noción mucho más misteriosa que la locomoción. En efecto, la única manera en que el hombre puede actuar de forma consciente sobre su entorno material es la de empujar y tirar, incluso cuando enciende un fuego; pero esa limitación no es razón para aferrarse a la idea de que el proceso entrópico puede ser reducible a la locomoción. Desde hace ya mucho tiempo, el monismo ha dejado de ser el santo y seña de la ciencia. Incluso el argumento de que la ciencia debe estar libre de contradicciones no es ya en modo alguno dominante. Por su parte, la física nos enseña actualmente que no debemos insistir en amoldar la realidad a un sistema no contradictorio. Exactamente del mismo modo en que el Principio de la Complementariedad de Niels Bohr nos dice que debemos aceptar como hecho material que el electrón se comporta como onda y como partícula —conceptos irreductibles entre sí—, tenemos también que reconciliarnos ahora con la existencia paralela, aunque opuesta, de fenómenos termodinámicos y mecánicos.

Desde el punto de vista de la epistemología, puede considerarse que la Ley de la Entropía es la mayor transformación experimentada jamás por la física; indica el reconocimiento por esta ciencia —en la que más se confía entre todas las ciencias de la Naturaleza— de que existe en el universo un cambio cualitativo<sup>9</sup>. Aún más importante es el hecho de que el carácter irrevocable proclamado por esta ley establece sólidamente la distinción ló-

<sup>9</sup> En la actualidad, esta noción no constituye ya una rareza en la ciencia de la materia elemental. Las dos especulaciones que contienden hoy en día en el campo cosmológico hablan incluso de creación: una afirmando que el universo fue creado por una Gran Explosión (Big Bang) y la otra diciendo que la materia se crea y se destruye continuamente.

gica entre locomoción y verdadero acontecer. De acuerdo con esa distinción, sólo lo que no puede retrotraerse por pasos inversos hacia un estado previo representa un verdadero acontecer. Así, el significado de «acontecer» se ilustra perfectamente por medio de la vida de un organismo o de la evolución de una especie (a diferencia de las simples mutaciones, que *son* reversibles). Es probable que esta oposición entre verdadero acontecer y locomoción se critique por ser una idea antropomórfica; de hecho, los puristas positivistas han acusado a la propia termodinámica de amalgama antropomórfica. Una autoridad científica afirma que incluso el Tiempo es solamente una ilusión humana y que, por consiguiente, no tiene sentido alguno hablar del carácter reversible o irreversible de los fenómenos naturales. Por otro lado, no puede negarse que lo que impulsó la termodinámica fue la importancia que la distinción entre energía libre y dependiente tiene para la economía humana como potencia mecánica. Ahora bien, sería totalmente erróneo sostener que únicamente la termodinámica se encuentra en esa situación. Locomoción, partícula, onda y ecuación, por ejemplo, son conceptos no menos antropomórficos que las dos caras de la entropía, que las dos cualidades de la energía. La única diferencia es que, entre todas las ciencias que se ocupan de la materia inerte, la termodinámica es la más próxima —literalmente, no en sentido figurado— al cuerpo humano.

Sabemos que las personas pueden vivir incluso aunque se encuentren privadas de la vista, del oído o del sentido del olfato y del gusto, pero no conocemos a nadie capaz de vivir sin la impresión del flujo de entropía, esto es, de la impresión que bajo diferentes formas regula las actividades directamente relacionadas con el mantenimiento del organismo físico. En el caso de un mamífero, esa impresión incluye no solamente las sensaciones de calor y frío sino también las punzadas de hambre y la satisfacción tras una comida, la impresión de cansancio y la de descanso, y muchas otras del mismo tipo<sup>10</sup>. Así pues, las cosas no son tan amplias y vagas si se considera que, en sus manifestaciones conscientes e inconscientes, la impresión entrópica constituye el aspecto fundamental de la vida desde la araña hasta el hombre.

Sea como sea, el hecho es que la base material de la vida es un proceso entrópico. Tal como lo concretó Erwin Schrödinger, toda estructura viviente se mantiene a sí misma en un estado cuasi estacionario absorbiendo baja entropía del entorno y transformándola en alta entropía. Algunos autores —el filósofo francés Henri Bergson, en especial— llegaron a afirmar incluso que la vida se opone en realidad a la tendencia a la degradación cua-

<sup>10</sup> Sobre la base de la anterior definición, habría que esperar que los «sentidos» del gusto y del olfato no pudieran estar ausentes al mismo tiempo.



litativa a que se encuentra sujeta la materia inerte. Piénsese en el núcleo de alguna primitiva raza de ameba que pudiera seguir existiendo en su forma original. Ninguna estructura inerte del mismo número de moléculas puede vanagloriarse del mismo «tour de force»: resistir la labor destructiva de la Ley de la Entropía durante casi dos mil millones de años.

La idea de que la vida puede «caracterizarse por la capacidad de evitar esta ley» —en otros tiempos denunciada generalmente como total obscurantismo— se acepta ahora por casi todas las autoridades de la fisicoquímica<sup>11</sup>. En todo caso, es cierto que, expresada de ese modo conciso, la idea podría desvirtuarse con facilidad. Un ser vivo únicamente puede evitar la degradación entrópica de su propia estructura; no puede impedir el aumento de la entropía del sistema en su conjunto, compuesto de su estructura y su entorno. Por el contrario, de acuerdo con lo que sabemos actualmente, la presencia de la vida da lugar a que la entropía de un sistema aumente más rápidamente de lo que lo haría en otra situación.

La verdad que encierra el punto anterior es especialmente evidente en el caso de la especie humana. Verdaderamente, se precisa añadir poco más para hacernos ver también que el debate económico se refiere únicamente a la baja entropía y que el carácter del proceso económico contemplado en su conjunto es puramente entrópico. Sin embargo, entre los economistas de prestigio sólo Alfred Marshall intuyó que la biología, y no la mecánica, es la verdadera Meca del economista; e, incluso, si bien las tendencias anti-mecanicistas de Marshall se reflejaron principalmente en su famosa analogía biológica, hay que atribuirle su destacado descubrimiento de la irreversibilidad de las curvas de oferta a largo plazo. Por desgracia, las enseñanzas de Marshall no causaron una impresión duradera, no recibiendo atención alguna el hecho de que la irreversibilidad es un rasgo general de todas las leyes económicas.

Sin entender a Marshall, los economistas no han visto razón alguna para seguir la evolución de la biología, desperdiciando así muchas ideas fecundas. Esto es lo que sucede en el caso de la forma altamente interesante en la que Alfred J. Lotka, biólogo físico, explicó por qué el proceso económico es una continuación del biológico. Según señaló Lotka, en el último proceso y al igual que otros seres vivos, el hombre utiliza solamente sus instrumentos *endosomáticos*, es decir, los instrumentos que forman parte de todo organismo individual desde su nacimiento. En el proceso económico, el hombre utiliza también instrumentos *exosomáticos* producidos por él mismo: cuchillos, martillos, barcos, máquinas, etc. El esquema de Lotka nos va a ayudar a entender por qué únicamente la especie humana está sujeta a un conflicto social irreductible.

<sup>11</sup> La cita anterior de Sir James Jeans, *The New Background of Science* (Nueva York, 1934), p. 280, es una más entre esas numerosas afirmaciones.

Una peculiaridad de los poderes determinantes de la Ley de la Entropía es la causante de que la relación existente entre esa ley y el campo de los fenómenos vitales sea todavía más profunda de lo que ponen de manifiesto los hechos que se acaban de mencionar. La geometría (concebida en su sentido etimológico), la astronomía y la mecánica clásica nos acostumbraron al poder de la ciencia para determinar «exactamente» dónde y cuándo tendrá lugar un acontecimiento determinado. Más tarde, los fenómenos cuánticos nos enseñaron a contentarnos con una posición más débil en la que las leyes científicas determinan solamente la probabilidad de un suceso. Pero la Ley de la Entropía constituye un caso especial; no determina ni *cuándo* (en términos horarios) la entropía de un sistema cerrado alcanzará un nivel determinado ni *qué* ocurrirá con exactitud<sup>12</sup>. A pesar de este defecto (y frente a lo que algunos han sostenido), la Ley de la Entropía no es inútil: determina la dirección general del proceso entrópico de todo sistema aislado.

Sin embargo, el defecto adquiere cierta trascendencia en relación con el hecho de que la única otra ley termodinámica que se refiere a un proceso entrópico es la Ley de la Conservación de la Materia y la Energía<sup>13</sup>. Esto significa que lo único que puede decirse acerca de un proceso semejante es que, con el transcurso del tiempo, su energía total permanece constante, mientras que la distribución de esa energía se hace más uniforme. En consecuencia, los principios termodinámicos dejan una libertad importante a la trayectoria real y al esquema temporal de un proceso entrópico. De acuerdo con la postura adoptada en este estudio respecto del carácter de los fenómenos termodinámicos, no debe confundirse esa libertad con una incertidumbre aleatoria. Podríamos calificar todo ello de *indeterminación entrópica*.

Es ésta una característica de la realidad sumamente importante, pues sin la indeterminación entrópica no le sería posible a un ser vivo mantener su constante entrópica, ni le sería factible al hombre «invertir» la entropía de alta a baja, como sucede en la producción de acero a partir de mineral de hierro y carbón. Y, sobre todo, a las distintas formas de vida les sería imposible perseguir la baja entropía del entorno y emplearla de modos tan sorprendentemente diversos como los de una bacteria, una langosta, una mariposa, un amaranto, un *Homo sapiens* y así sucesivamente en una lista potencialmente ilimitada. Ahora bien, hay que reconocer que por sí misma esa indeterminación no asegura la existencia de la infinitud de formas

<sup>12</sup> El primer punto se deriva directamente de la simple enunciación de la ley y el segundo del hecho de que la entropía es solamente un índice medio de la distribución de la energía total dentro de un sistema.

<sup>13</sup> Junto a las dos leyes ya mencionadas, hay sólo otra ley fundamental de la termodinámica, la Ley de Nernst, que en esencia dice que el mínimo de entropía no es factible en la realidad.

y funciones que despliega el campo orgánico; en realidad, ni siquiera asegura la existencia de ningún ser vivo. La existencia de estructuras vitales es un hecho central que debe ser postulado de igual modo que lo hacemos en el caso de otros «misteriosos» componentes de la realidad, como, por ejemplo, el espacio o la materia.

Pero incluso con este postulado, no podemos explicar por qué el espacio abandonado por la indeterminación entrópica se ocupa completamente por innumerables especies y variedades en lugar de por una única forma, pues la estructura material de todo ser vivo debe obedecer no solamente a las leyes de la termodinámica sino también a todas las restantes leyes de la materia inerte. Y si miramos más allá de la termodinámica vemos, en primer lugar, que la mecánica clásica no deja nada indeterminado y, en segundo lugar, que la libertad permitida por la mecánica cuántica se limita únicamente a las variaciones aleatorias, no a las permanentes. Puede parecer, por tanto, que la variabilidad de los seres vivos sigue siendo un enigma que, sin embargo, tiene una solución proporcionada por un principio fundamental, aunque inadvertido: *la aparición de la innovación por medio de la combinación.*

El significado de este principio es tan simple como inequívoco. Muchas de las propiedades del agua, por ejemplo, no son deducibles a través de principios universales a partir de las propiedades elementales de sus componentes, oxígeno e hidrógeno; en relación con las últimas propiedades, las primeras son consiguientemente nuevas. El principio actúa en todas partes con un grado de diversidad que aumenta constantemente desde la física del átomo en el campo inorgánico hasta las formas sociales en el superorgánico. A la vista de todo ello, la frecuente afirmación de que «los organismos vivos son la expresión enormemente magnificada de las moléculas que los componen»<sup>14</sup> parece uno de los más torpes eslóganes de la agresiva erudición por la que pasará a la historia esta mitad del siglo. Si la afirmación fuese cierta, también una molécula sería solamente la expresión de las partículas elementales que la componen, y una sociedad la expresión de los organismos biológicos de sus miembros. Contemplando todo esto, se llega a la conclusión de que las sociedades, los organismos, las moléculas y los átomos son sólo expresiones de partículas elementales, pero en ese caso no habría ni que estudiar las biomoléculas. ¡Se debería estudiar solamente las partículas elementales por sí mismas!

<sup>14</sup> La afirmación original en encuentra en George Wald, «Phylogeny and Ontogeny at the Molecular Level», en *Proceedings of the Fifth International Congress of Biochemistry*, vol. III, *Evolutionary Biochemistry*, editado por A. I. Oparin (Nueva York, 1963), p. 12. Debo apresurarme a añadir que posiblemente el propio Wald no se adhiera a ella por completo. Valga como ejemplo de ello su afirmación de que: «El trato que el organismo en su conjunto cierra con su entorno, en competencia con sus vecinos, es lo que decide su destino; y este destino se comparte entonces por sus moléculas, incluyendo su ADN genético». *Ibid.*, p. 13.

Indudablemente, deberíamos estudiar las moléculas, no sólo las que están en los organismos sino allí donde quiera que las encontremos; pero, al mismo tiempo, no tendríamos que dejar de ver que, como resultado de la innovación creada por la combinación, las propiedades de las moléculas en cuanto tales no pueden permitirnos conocer cómo se comportan también los organismos o, en términos más generales, cómo se comportará una molécula en relación con cualquier otra molécula. Veamos uno de los numerosos ejemplos de actualidad: el estudio a nivel molecular de la talidomida por sí misma, ¿nos ha permitido prever las innovaciones producidas por esa sustancia en contacto con todo tipo de molécula del organismo humano? A la ciencia no se la sirve si no reconocemos que las propiedades de un electrón (o de cualquiera de las múltiples partículas elementales) han de incluir todas las de una estructura material, inerte o viva. La base del conocimiento no puede reducirse a la totalidad por sí sola o a las partes<sup>15</sup>. El biólogo debe estudiar moléculas, células y organismos, igual que el economista tiene que estudiar las unidades económicas y la economía en su conjunto.

Aun cuando la importancia de los dos principios que se acaban de bosquejar —la indeterminación entrópica y la innovación por medio de la combinación— es mucho mayor para el mundo de los fenómenos vivos que para el de la simple materia, no hay que olvidar que sus raíces se encuentran en el último campo. En consecuencia, lo más interesante es que esos principios inevitablemente nos invitan a mirar desde otro ángulo otros problemas a los que los biólogos y los científicos sociales de la denominada escuela romántica consideraban generados de forma espuria.

Una de esas cuestiones es el mito de que la ciencia es medida, de que más allá de los límites de la teoría nada puede conocerse. «Teoría» se toma aquí en su acepción discriminativa: formulación de todas las proposiciones descriptivas dentro de un campo determinado, de forma que cada proposición se deriva por medio de la Lógica (en su sentido estricto, aristotélico) a partir de una pocas proposiciones que constituyen los fundamentos lógicos de esa ciencia. Semejante separación de todas las proposiciones entre «postulados» y «teoremas» exige evidentemente que sean susceptibles de ser sometidas a examen lógico; y el problema reside en que la Lógica puede tratar únicamente un grupo muy reducido de conceptos, a los que voy a calificar de *aritmomórficos* debido a que cada uno de ellos es tan discretamente distinto como un solo número con respecto a la infinidad de todos los demás. Ahora bien, muchas de nuestras ideas se refieren a formas y cualidades y prácticamente cada forma (por ejemplo, una hoja) y cada cua-

<sup>15</sup> La afirmación de Wald citada en la nota anterior ilustra magníficamente este punto.

lidad (por ejemplo, ser razonable) son conceptos *dialécticos*, es decir, que cada concepto y su opuesto se superponen en una desdibujada penumbra de amplitud variable.

Sucede sencillamente que el libro del universo no está escrito, como afirmaba Galileo, sólo «en el lenguaje de las matemáticas, y sus características son triángulos, círculos y otras figuras geométricas»<sup>16</sup>. En el propio libro de la física encontramos el concepto dialéctico más edificante: la probabilidad; y ningún libro que se refiera a los fenómenos de la vida puede prescindir de conceptos dialécticos tan fundamentales como especie, necesidad, industria, competencia, democracia, etc. Creo que sería el colmo del absurdo decretar que no se ha escrito nunca un libro semejante o que, caso de haberse escrito, no hace más que difundir desatinos. A fin de que esta postura no sea nuevamente tergiversada por cualquier lector ocasional, quiero repetir que mi punto de vista *no* es que la aritmetización de la ciencia sea indeseable; siempre que pueda desarrollarse, sus ventajas superan toda ponderación. Mi postura es que la aritmetización generalizada es imposible, que existe conocimiento válido incluso sin ella y que una aritmetización simulada es peligrosa si se vende como genuina.

Hay que resaltar también que la aritmetización por sí sola no garantiza que una construcción teórica sea apropiada y conveniente. Como lo demuestra el caso de la química —ciencia en la que muchos atributos son cuantificables, es decir, aritmomórficos—, la innovación creada por la combinación constituye un revés todavía mayor para la creencia de que «no hay ciencia sin teoría». Una construcción teórica de la química consistiría en una base enorme que soportase una pequeña superestructura, con lo que sería totalmente inútil; y ello, porque la única *raison d'être* de la teoría es la economía del pensamiento y esa economía exige, por el contrario, una inmensa superestructura que descansa sobre una base insignificante.

Otra cuestión que resalta de forma inmediata sobre el fondo esbozado hasta ahora es la del determinismo y nos interesa aquí por su relación con el poder predictivo y manipulador de la ciencia.

Durante algún tiempo, los físicos nos han venido diciendo que un átomo de radio hace explosión no cuando algo le obliga a ello sino cuando quiere. Sin embargo, el resto de la historia es que la frecuencia de las explosiones tiene una estabilidad *dialéctica* y que esa estabilidad nos permite predecir como mínimo el comportamiento del radio en grandes cantidades. El problema es que la mayor limitación a nuestro poder de predicción procede de la indeterminación entrópica y, en especial, de la aparición de la innovación causada por la combinación. Estas son las principales razo-

nes por las que nuestras percepciones del futuro no pueden reducirse a la causa eficiente tal como la conocemos desde Aristóteles.

En el caso de la innovación originada por la combinación (de elementos contemporáneos o consecutivos), las cosas acaecen sencillamente, sin una *causa finalis* o una *causa finalis*. Además, los elementos más numerosos y básicos de nuestro conocimiento pertenecen a esta categoría; su verdad puede justificarse a través de observaciones repetidas, pero no por el raciocinio ni por ponerlo en relación con un propósito. Es cierto que un ser inteligente y que nunca haya presenciado la combinación de oxígeno e hidrógeno en una sustancia con las propiedades del agua contemplará esa reacción como algo misterioso después de haberse enfrentado a ella siquiere sea una sola vez. Del mismo modo, la evolución nos parece tan misteriosa debido únicamente a que al hombre se le ha negado la facultad de observar el nacimiento, el desarrollo y la desaparición de otros planetas, y la consecuencia de esa negativa es que posiblemente ningún científico social puede predecir por completo qué tipos de organizaciones sociales resultarán aceptables para la humanidad en el futuro. Es evidente que nuestro conocimiento avanza constantemente, pero en cada momento puede abarcar sólo parte del Todo; además, ese avance es de tal índole que por cada problema resuelto surgen nuevas y muy diversas cuestiones.

En esta situación, no hay que insistir en preguntar siempre «por qué», pues en el caso de varios problemas podemos alcanzar una mejor comprensión si preguntamos «para qué». Incluso los biólogos propensos a evistar todo aquello que pudiera tener cierto regusto vitalista admiten que hay algunas ventajas en clasificar algunos fenómenos biológicos de cuasi finalistas, pero esta prestidigitación verbal podría servir sólo para especies distintas de la humana. El hombre sabe (y de la forma más directa) que es una *causa finalis*, no una *causa efficiens*, lo que le hace trabajar para obtener una graduación académica o para ahorrar para la vejez. Negar que, en sus acciones deliberadas, el hombre está animado por un propósito sería huir de la verdad. El autor recurrente que anuncia que su propósito es demostrar que el concepto de propósito es una pesadilla constituye —como lo ha observado agudamente Whitehead— un objeto de estudio muy interesante.

En realidad, la difícil situación del estudioso de la sociedad contemporánea únicamente puede mitigarse por medio de la interpretación empática de sus propensiones y de su estado de ánimo, tarea que no puede delegarse en ningún instrumento. Sólo una mente humana puede descubrir lo que sienten otros hombres y cuáles son sus propósitos, y sólo de este modo puede un estudioso determinar al menos el sentido general de la inmediata tendencia social.

El veredicto es incuestionable: ninguna ciencia social puede ayudar al arte de gobernar tan eficazmente como lo hace la física, por ejemplo, con

<sup>16</sup> Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, en *The Controversy on the Comets*, traduc. de S. Drake y C. D. O'Malley (Filadelfia, 1960), p. 184.

la técnica de los viajes espaciales. Sin embargo, algunos científicos sociales se niegan sencillamente a acomodarse a este veredicto y, aparentemente desesperados, se han descolgado con una curiosa propuesta: inventar medios que obliguen a las personas a comportarse de la forma que «nosotros» esperamos, de tal modo que «nuestras» predicciones sean siempre ciertas. El proyecto, en el que se reconoce el continuo afán (iniciado por Platón) por conseguir una sociedad «racional», no puede tener éxito —ni siquiera bajo la coerción física—, debido simplemente a su agresivo *petitio principii*: el primer requisito previo de todo plan es que el comportamiento de las materias implicadas sea totalmente predecible, al menos durante un espacio de tiempo considerable.

Pero los especialistas agresivos no cesan nunca de elaborar nuevos planes para el «perfeccionamiento de la humanidad». Dado que no pueden disimularse más las dificultades de hacer que una *vieja* sociedad se comporte como deseamos, ¿por qué no crear una *nueva* sociedad de acuerdo con nuestros planes «racionales»? Algunos biólogos moleculares llegan incluso a afirmar que nuestra capacidad de crear «Einsteins a la carta» está a la vuelta de la esquina, pero cierran los ojos ante muchos obstáculos elementales entre los que se encuentran las dimensiones supercósmicas de varios aspectos del problema y la innovación causada por la combinación. Y, lo que es más interesante de todo, ni siquiera parecen intuir que una sociedad compuesta únicamente por genios, mejor aún, por personas capacitadas solamente para desempeñar una ocupación intelectual, no podría subsistir ni un solo día. Por otro lado, si la sociedad creada de esa manera incluye también una clase «productiva», el inevitable conflicto social entre las dos clases la impediría ser «racional» (a no ser que los mismos hechiceros biológicos pudiesen remodelar la especie humana según el modelo genético de los insectos sociales).

Más de un economista se ha referido indirectamente a la Primera Ley de la Termodinámica al subrayar que el hombre no puede crear ni materia ni energía; pero ni siquiera Irving Fisher —que fue primero discípulo de J. Willard Gibbs, uno de los fundadores de la termodinámica estadística— se dio cuenta de que la Ley de la Entropía sigue siendo más importante para el proceso económico. Uno de los pioneros de la econometría, Harold T. Davis, parece ser el único que ha intentado establecer una semejanza formal entre las ecuaciones termodinámicas fundamentales y algunas ecuaciones utilizadas en modelos económicos. Así, estudió las restricciones presupuestarias del análisis macroeconómico y sugirió que la utilidad del dinero representa la entropía económica<sup>17</sup>; pero, como lo indicó después J. H. C.

Lisman al comentar el intento solitario de Davis<sup>18</sup>, ninguna de las variables utilizadas en los modelos económico-matemáticos parece desempeñar el mismo papel de la entropía en la termodinámica. A la luz de las ideas desarrolladas en las páginas anteriores, es inevitable concluir que en una analogía mecánica nada correspondería al concepto que opondría la termodinámica a la mecánica.

En lugar de buscar una correspondencia termodinámica homóloga en el habitual sistema matemático de la economía, podemos ahora intentar representar el proceso económico a través de un nuevo sistema de ecuaciones diseñado según el de la termodinámica. En principio, podemos pues escribir las ecuaciones de cualquier proceso de producción o de consumo (si no con todos los detalles técnicos, al menos de forma general). A continuación, podemos ensambalar todas esas ecuaciones en un sistema gigantesco o agregarlas en otro más manejable. Ahora bien, para escribir cualquier conjunto de ecuaciones iniciales, debemos conocer las características exactas del proceso individual al que se refiere, y el problema consiste en que a largo plazo, o incluso a no tan largo plazo, el proceso económico (al igual que el biológico) está inevitablemente dominado por un cambio cualitativo que no puede conocerse de antemano. La vida debe contar con mutaciones nuevas y originales si ha de continuar existiendo en un entorno que cambia continuamente y de modo irrevocable. Así pues, ningún sistema de ecuaciones puede describir el desarrollo de un proceso evolutivo. Si no fuese así, los biólogos (que desde hace mucho tiempo han adoptado la termodinámica) tendrían que haberse ideado un vasto sistema para representar el curso del proceso biológico hasta el día del juicio final.

La representación por medio de este sistema termodinámico de un proceso *dado* de producción o de consumo puede ayudar a un ingeniero, quizá también a un experto en administración, a decidir qué proceso puede ser más eficiente en términos entrópicos. Sin embargo, la vía por la que el reconocimiento del carácter entrópico del proceso económico puede iluminar al economista en su calidad de estudioso del hombre no discurre a través de un sistema matemático que reduce todo a entropía. No debe olvidarse que el hombre lucha por la entropía, pero no por cualquier forma de ella; ningún hombre puede utilizar la baja entropía de setas venenosas y no todos luchan por la que contienen las algas o los escarabajos.

La íntima conexión existente entre la Ley de la Entropía y el proceso económico tampoco nos ayuda a gestionar mejor una economía *determinada*. En mi opinión, lo que hace es mucho más importante: al mejorar y ampliar nuestra comprensión del proceso económico, puede enseñar a todo aquel dispuesto a prestar atención cuáles son los mejores objetivos de la economía humana.

<sup>18</sup> J. H. C. Lisman, «Econometrics and Thermodynamics: A Remark on Davis' Theory of Budgets», *Econometrica*, XVII (1949), pp. 59-62.

<sup>17</sup> Harold T. Davis, *The Theory of Econometrics* (Bloomington, 1941), pp. 171-176.

El simple hecho de que desde la perspectiva puramente física el proceso económico no sea una analogía mecánica nos plantea una espinosa cuestión de importancia fundamental para la ciencia en general. ¿Qué es un «proceso» y cómo podemos representarlo analíticamente? La respuesta deja al descubierto algunas insospechadas omisiones de los análisis neoclásico y marxista de la producción, a la vez que nos permite llegar a una ecuación del valor (sería mejor decir una «cuasi ecuación») con respecto a la que podemos proyectar, comparar y valorar todas las doctrinas del valor propuestas hasta ahora. Esa ecuación resuelve algunos aspectos del controvertido problema del valor.

Puesto que el proceso económico consiste materialmente en una transformación de baja en alta entropía, es decir, en desechos, y, dado que esa transformación es irrevocable, los recursos naturales han de constituir necesariamente parte de la noción de valor económico; y, puesto que el proceso económico no es automático sino deseado, los servicios de todos los agentes, humanos o materiales, pertenecen también a la misma faceta de esa noción. Por otro lado, habría que resaltar que sería totalmente absurdo pensar que el proceso económico existe solamente para producir desechos. La conclusión irrefutable de todo ello es que el verdadero producto de ese proceso es un flujo inmaterial, el placer de vivir. Este flujo constituye la segunda faceta del valor económico. A causa de su penosidad, el trabajo únicamente tiende a disminuir la intensidad de este flujo, de igual modo que una superior tasa de consumo tiende a aumentarla.

Y, por muy paradójico que pueda parecer, es la Ley de la Entropía, una ley de la materia elemental, la que no nos deja otra opción sino la de reconocer el papel de la tradición cultural en el proceso económico. Tal como lo proclama esta ley, el derroche de energía se produce de forma automática en todas partes, y ésta es precisamente la razón por la que la inversión entrópica contemplada en cada línea productiva lleva el sello indeleble de la actividad deliberada; además, el modo en que esta actividad se planea y se lleva a cabo depende por supuesto de la matriz cultural de la sociedad de que se trata. No hay otro modo de explicar las fascinantes diferencias existentes entre algunas naciones desarrolladas dotadas de un entorno pobre y poco favorable y algunos países poco desarrollados rodeados de abundantes riquezas naturales. La evolución exosomática se abre camino también a través de la tradición cultural, no sólo por medio del conocimiento tecnológico.

La Ley de la Entropía no ayuda a un economista a decir con exactitud qué sucederá mañana, el año próximo o dentro de algunos años. Al igual que sucede con el envejecimiento, la actuación de la Ley de la Entropía a través del proceso económico es relativamente lenta, pero incansante, con lo que sus efectos se manifiestan tan sólo por acumulación tras largos perío-

dos. Miles de años de pastoreo de ganado lanar llevado a cabo antes del agotamiento del suelo en las estepas de Eurasia dieron lugar a la Gran Migración. La Ley de la Entropía permite que nos demos cuenta de que actualmente se encuentra en pleno progreso una evolución de las mismas características. En efecto, como consecuencia de la presión ejercida por la población sobre el suelo agrícola, cuya superficie no puede aumentarse de forma considerable, la baja entropía de la agricultura no puede ya seguir compartiéndose con sus tradicionales compañeros de trabajo, los animales de carga. Este hecho constituye la razón más importante por la que la mecanización de la agricultura debe extenderse por uno tras otro de los rincones del planeta, al menos durante bastante tiempo.

La Ley de la Entropía hace resaltar también algunos aspectos fundamentales, aunque ignorados todavía, de los dos problemas que preocupan actualmente a los gobernados, a los gobiernos y prácticamente a todos los científicos: la contaminación y el continuo crecimiento de la población.

Es natural que la aparición de la contaminación haya cogido por sorpresa a una ciencia económica que se ha deleitado en juguetear con todo tipo de modelos mecanicistas. Curiosamente, incluso después de esa aparición, la economía no ha dado señales de reconocer el papel que desempeñan los recursos naturales en el proceso económico. Los economistas parecen seguir sin darse cuenta de que, puesto que el producto del proceso económico son los desechos, éstos constituyen un resultado inevitable de tal proceso y *ceteris paribus* aumentan en mayor proporción que la intensidad de la actividad económica. Esta es la razón por la que la contaminación no infesta actualmente al Tibet o a Afganistán, por ejemplo. Si la economía hubiese reconocido el carácter entrópico del proceso económico, podría haber sido capaz de avisar a sus colaboradores en la mejora de la humanidad —las ciencias tecnológicas— de que «mayores y mejores» lavadoras, automóviles y aviones supersónicos tenían que conducir a una «mayor y mejor» contaminación. Cuando los científicos contemporáneos se reúnen en simposios para buscar una solución a ese callejón sin salida, no hacen mucho más que culpar a sus predecesores por una doctrina excesivamente agresiva y una previsión demasiado estrecha. Al ser para nosotros el futuro tan impredecible como es, debiéramos únicamente preguntarnos qué es lo que los futuros científicos tendrán que decir acerca de la agresividad y la previsión de la generación actual.

Las opiniones más extremistas del grupo literario de Vanderbilt Fugitives, muchos de cuyos componentes criticaron los efectos de la tecnología moderna sobre la vida pastoril del campo, palidecerían por completo en comparación con las profesadas en la actualidad por algunos miembros de la naciente clase de expertos en contaminación. Otros de esos miembros parecen pensar que, por el contrario, la humanidad puede sencillamente hacer desaparecer la contaminación sin coste alguno en términos de baja

entropía siempre que se usen únicamente técnicas industriales no contaminantes, una idea que revela la creencia en la posibilidad de ocultar la entropía y a la que ya me he referido antes. El problema de la contaminación es a muy, muy largo plazo, y se encuentra íntimamente relacionado con la manera en que la humanidad está haciendo uso, dentro de sus posibilidades, de la baja entropía. Esto último es lo que constituye el verdadero problema de la población.

Hoy en día está de moda permitirse estimar el tamaño de la población que puede soportar nuestra Tierra; algunas estimaciones son tan bajas como cinco mil millones y otras tan altas como cuarenta y cinco mil millones<sup>19</sup>. Sin embargo, dado el carácter entrópico del proceso económico por el que se mantiene la especie humana, no es ese el modo adecuado de enfrentarse al problema de la población. Es posible que la Tierra pueda soportar hasta cuarenta y cinco mil millones de personas, pero con toda seguridad no *ad infinitum*. En consecuencia, tendríamos que preguntar, «¿durante cuánto tiempo puede la Tierra mantener a una población de cuarenta y cinco mil millones de personas?». Y si la respuesta es, por ejemplo, mil años, tendremos que seguir inquiriendo «¿qué sucederá después?». Todo esto pone de manifiesto que hasta el concepto de población óptima concebido como coordinada ecológicamente determinada tiene solamente un valor artificial.

Hay también varios peligros para la especie humana si se reduce el problema de la población a saber el tamaño de la misma que puede mantenerse en el año 2000 o en cualquier otra fecha. El problema de la población se extiende más allá del año 2000; además, tener en todo momento un máximo de población no va decididamente en interés de nuestra especie. Despojado de todo juicio de valor, el problema de la población tiene que ver no con la estrechez de un máximo sino con la máxima cantidad de vida que puede soportarse por la dotación natural del hombre hasta su completo agotamiento. Para el caso, la cantidad de vida puede definirse sencillamente como la suma de los años vividos por *todos* los individuos, hasta el presente y en el futuro<sup>20</sup>. Como ya sabemos, la dotación natural del hombre se compone de dos elementos esencialmente distintos: (1) el *stock* de baja entropía en o dentro de la esfera terrestre, y (2) el *flujo* de energía solar, que, lenta pero continuamente, disminuye en intensidad con

<sup>19</sup> Que yo sepa, cuarenta y cinco mil millones es la cifra más alta que jamás se ha mencionado como posible tamaño de la población mundial. Su proponente es Colin Clark; véase su «Agricultural Productivity in Relation to Population», en *Man and His Future*, ed. G. Wolstenholme (Boston, 1963), p. 35.

<sup>20</sup> Puede ser útil resaltar que este total es independiente, primero, del momento en que vive cada individuo, y, segundo, de si el mismo número de años se vive por uno o por varios individuos. Qué duración media de la vida de un individuo es óptima constituye una entre muchas cuestiones secundarias.

la degradación entrópica del sol. Ahora bien, la cuestión crucial para el problema de la población así como para cualquier especulación razonable sobre la futura evolución exosomática de la humanidad es la importancia relativa de esos dos elementos. Y ello porque, por más sorprendente que pueda parecer, ¡todo el stock de recursos naturales no equivale más que a unos pocos días de luz solar!

Si hacemos abstracción de otras causas que pueden hacer doblar a muerto por la especie humana, es evidente que los recursos naturales representan el factor limitativo por lo que se refiere a la duración de la vida de esa especie. La existencia del hombre se encuentra ahora irrevocablemente ligada al empleo de instrumentos exosomáticos y, consecuentemente, al uso de recursos naturales, de la misma manera que, por ejemplo, está unida en la respiración al uso de sus pulmones y del aire. No es preciso disponer de argumentos sofisticados para ver que el máximo de cantidad de vida exige una tasa mínima de agotamiento de los recursos naturales. En efecto, al usar esos recursos con excesiva rapidez, el hombre despilfarrará aquella parte de la energía solar que seguirá alcanzando la Tierra durante mucho tiempo después de su muerte, con lo que todo lo que ese hombre ha hecho durante los últimos doscientos años le pone en la situación de un fantástico despilfarrador. No puede haber duda alguna al respecto: todo uso de los recursos naturales para satisfacer necesidades no vitales lleva consigo una menor cantidad de vida en el futuro<sup>21</sup>. Si entendemos bien el problema, el mejor empleo de nuestros recursos de mineral de hierro es producir arados o gradas según se precisen, pero no Rolls Royces ni siquiera tractores agrícolas.

La comprensión de esas verdades no va a hacer que el hombre se muestre dispuesto a volverse menos impaciente y menos propenso a moderar sus deseos; sólo la necesidad directa puede obligarle a comportarse de modo diferente. No obstante, la verdad puede hacernos prever y comprender la posibilidad de que la humanidad pueda volver a encontrarse en una situación en la que considerará ventajoso emplear animales de carga, porque éstos trabajan en base a la energía solar en vez de a los recursos naturales. Esa misma verdad pone igualmente de manifiesto la futilidad del orgullo humano que invadió a algunos estudiosos al saber que aproximadamente en el año 2000 podríamos ser capaces de alimentarnos con proteínas derivadas del petróleo, resolviendo así por completo y para siempre el problema de la población. A pesar de lo altamente probable que es este proceso de conversión, podemos estar seguros de que en algún momento, quizá antes de lo que podría pensarse, el hombre tendrá que volver a

<sup>21</sup> He de apresurarme y admitir con placer que la distinción entre necesidades vitales y no vitales es de carácter dialéctico. Sin duda alguna, roturar un campo de cereal es una necesidad vital, mas no así conducir un Rolls Royce.

orientar su tecnología en el sentido opuesto, en el de obtener gasolina a partir de cereales, si desea seguir su actual camino y utilizar motores de combustión interna. De modo distinto al del pasado, el hombre tendrá que volver a la idea de que su existencia es un don gratuito del sol.

## CAPÍTULO I

### LA CIENCIA: BREVE ANÁLISIS EVOLUCIONISTA

1.  *Génesis de la ciencia.* Podemos contemplar la ciencia desde distintos puntos de vista, ya que es «muchas cosas maravillosas». Sin embargo, la ciencia no ha sido en todas partes ni en todas las épocas tal como la conocemos ahora, ni su forma moderna ha llegado hasta nosotros a través de una orden como determinados mandamientos revelados durante la brevedad de un relámpago llegaron a todos los hombres en cualquier parte del mundo. La ciencia tuvo una génesis y una evolución en el sentido en que se emplean esos términos en biología. Cuanto más reflexionamos sobre el modo en que la ciencia se ha transformado de forma radical a lo largo de los tres o cuatro últimos siglos, se hace mucho más evidente que se trata de un organismo vivo. En este sentido, no debiéramos sorprendernos de que hayan fracasado todos los intentos de definirla a través de un simple rasgo.

A fin de obrar de modo sistemático, voy a examinar en primer lugar la razón por la que surgió la ciencia, es decir, su *causa efficiens* (en el sentido aristotélico). Según podemos deducir, esa causa fue el instinto de explorar el entorno, instinto que el hombre comparte con otros animales. Aquí y allá algunas tribus empezaron a darse cuenta, primero, de que el conocimiento otorga un poder de control sobre el entorno (por desgracia, también sobre los hombres) y, por consiguiente, hace que la vida sea más fácil para quien lo posee; y, segundo, de que aprender lo que ya saben otros es mucho más económico que adquirir tal conocimiento a través de la propia experiencia. Fue entonces cuando el hombre comenzó a valorar el conocimiento acumulado de todos los individuos de la comunidad y sintió la necesidad de almacenar y conservar ese conocimiento de generación en generación. De esta forma fue, por tanto, como surgió la ciencia.

Es evidente entonces que la *causa materialis* (nuevamente en sentido aristotélico) de la ciencia es el conocimiento común almacenado, esto es, el conjunto de todas las proposiciones descriptivas que se encuentran a disposición de cualquier miembro de la comunidad y que se suponen ciertas de acuerdo con los criterios de validez dominantes en el período de re-

ferencia. Ahora bien, tomar esa ecuación como definición de la ciencia sería evidentemente inadecuado. Por otra parte, hay que reconocer que la ecuación es válida para todo tiempo y lugar, desde las culturas primitivas a las actuales. Además, ese significado plantea la opinión de que la ciencia es lo opuesto a descripción, mientras que, por el contrario, la ciencia no puede existir sin descripción<sup>1</sup>.

Por otro lado, la ecuación enunciada en el párrafo anterior se aplica no sólo a las ciencias de los hechos —como la física o la ciencia política, por ejemplo— sino también a las ciencias de la esencia, esto es, a las matemáticas y a la Lógica<sup>2</sup>. Realmente, «*p* implica *q* y *q* implica *r* da como resultado *p* implica *r*» es una proposición tan descriptiva como «un ácido y una base dan como resultado una sal». Ambas proposiciones representan conocimiento *adquirido* y, por tanto, su significado es susceptible de cambiar al aumentar ese conocimiento. Actualmente, sabemos que las ciencias de la esencia gozan también del privilegio de descubrir que no todos los cisnes son blancos. Bernhard Bolzano tenía toda la razón cuando, hace ya más de cien años, nos advertía que en lógica queda por hacer más de un nuevo descubrimiento<sup>3</sup>. Sólo el conocimiento al que llega *inevitablemente* todo individuo —como «yo no soy tu», por ejemplo— no cambia con el transcurso del tiempo, y tales proposiciones tampoco forman la *causa materialis* de una ciencia.

2. *Evolución por mutaciones.* Como ya se ha dado a entender, el instinto animal del aprendizaje no fue suficiente para que una comunidad desarrollase la ciencia: la comunidad tenía que desarrollar también en grado considerable el instinto utilitario, de modo que pudiese llegar así a ser consciente de la utilidad de almacenar todo el conocimiento común. Hay ejemplos de tribus que han subsistido hasta épocas recientes y que no han desarrollado ciencia alguna como consecuencia precisamente de su débil instinto comunitario. Esta deficiencia es responsable también de otros modelos culturales comunes a esas comunidades y que nos parecen igualmente incomprensibles. Debemos observar además que la supervivencia hasta nuestros días de comunidades científicas se debe exclusivamente a su aislamiento accidental de otras comunidades, porque, en otro caso, la selección natural —como nos diría cualquier darwinista— se habría encargado de

que su historia fuese finalmente clausurada por el ataque de otras tribus que pondrían la ciencia al servicio de la guerra. La historia muestra que hasta las diferencias en el nivel del conocimiento objetivo desempeñan un papel de la mayor importancia, si no decisivo, en la lucha entre sociedades humanas. Difícilmente puede dudarse de que si las naciones europeas no hubiesen adquirido una cantidad enormemente superior de conocimientos objetivos en comparación con el resto del mundo, el colonialismo no habría tenido lugar. Muy probablemente, China o India habrían colonizado el mundo, incluida Europa, en el caso de que las civilizaciones asiáticas hubiesen logrado antes esa superioridad.

Aunque las causas que podrían explicar el nacimiento de la ciencia parecen ser iguales en todas partes, su evolución no siguió siempre el mismo modelo. De acuerdo con Veblen, podríamos atribuir la posterior expansión y transformación de la ciencia primitiva al instinto de *curiosidad ociosa*. Ahora bien, si lo hacemos así tenemos que admitir que este instinto no es innato como lo es el de aprendizaje. Ese reconocimiento parece inevitable en vista de la evolución totalmente diferente de la ciencia en diversas partes del mundo. Parece indudable que el instinto de curiosidad ociosa representa una mutación secundaria posterior que, al igual que cualquier mutación que tiene éxito, se difundió de modo gradual entre grupos cada vez más amplios.

3. *La memoria: el más antiguo almacén de conocimiento.* El problema de almacenar y conservar el conocimiento condujo pronto a la profesión académica y a la institución de la enseñanza. Mientras la lista de proposiciones descriptivas siguió siendo relativamente corta, su memorización proporcionaba la manera más sencilla de almacenamiento. Esa manera era también perfecta, en el sentido de que permitía un acceso casi instantáneo a cada parcela de conocimiento existente. Así pues, durante mucho tiempo la buena memoria fue la única capacidad exigida a los estudiosos y llegó a ser considerada como una de las más valiosas virtudes de un pueblo<sup>4</sup>.

Por último, se llegó a un punto crítico cuando ni siquiera la memoria del individuo más inteligente podía servir ya de depósito de la creciente cantidad de conocimientos, teniendo que inventarse depósitos no humanos a fin de no perderlos. El atolladero pudo resolverse afortunadamente con la invención de la escritura y de los papiros. Sin embargo, dado que el conocimiento continuaba expandiéndose, apareció un problema nuevo y más preocupante: cómo clasificar innumerables proposiciones de forma que se pudiera encontrar la que se precisase sin tener que buscar a través de todo el depósito. Aunque no encontramos el problema expresado en términos tan precisos, podemos comprender no obstante que esa necesi-

<sup>4</sup> Platón, *Phaedrus*, pp. 274-275, relata que un famoso rey egipcio lamentó la invención de la escritura porque llevaría al pueblo a dedicar menos atención al adiestramiento de la memoria.

<sup>1</sup> Véase P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 175.

<sup>2</sup> El que tanto los hechos como la esencia constituyen el objeto de la descripción y, por tanto, de la ciencia es el punto de vista de Edmund Husserl, *Ideas: General Introduction to Pure Phenomenology* (Nueva York, 1931), pp. 61 y ss. La diferencia estriba en que, en lugar de describir hechos, las ciencias de la esencia describen los modos por los que la mente humana comprende, clasifica y relaciona los hechos. O, si se desea, las matemáticas estudian los objetos despojados de toda cualidad particular y la Lógica estudia las proposiciones desprovistas de todo contenido objetivo.

<sup>3</sup> Bernhard Bolzano, *Paradoxes of the Infinite* (New Haven, 1950), p. 42. Véase también P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 98.



dad debe haber irritado continuamente las mentes de los eruditos. Primeramente cayeron en la idea de la clasificación taxonómica, tal como lo atestiguan los primitivos códigos de conducta moral o legal. Ahora bien, una buena clasificación taxonómica requiere a su vez un criterio rápidamente disponible, como podría ser el orden cronológico para clasificar hechos históricos. De esta manera, al menos una —probablemente la única— de las culturas humanas, en concreto la de la Antigua Grecia, llegó a ocuparse de la clasificación y a debatir apasionadamente los delicados problemas conexos. Platón, por ejemplo, afirmó que la dicotomía es el principio racional de la clasificación, mientras que Aristóteles se mostró en completo desacuerdo con ello, observando con razón que en la mayor parte de los casos la dicotomía es «imposible o inútil»<sup>5</sup>.

Como sistema de depósito, la clasificación ha subsistido hasta hoy por la sencilla razón de que seguimos teniendo que archivar taxonómicamente una gran parte de nuestro conocimiento objetivo. Lo anterior es cierto no sólo en el caso de la biología sino también en el más elevado campo de la física: en la actualidad, los físicos están preocupados en clasificar el siempre creciente número de diferentes partículas intraatómicas<sup>6</sup>. Parece como si el mandato formulado por Georges Cuvier, «*nommer, classer, décrire*», tuviese un valor permanente, incluso aunque las tres órdenes no puedan ejecutarse ya por separado o en la secuencia indicada. Por desgracia, también han permanecido sin resolverse los problemas básicos de la clasificación que continúan atormentando al mundo académico, desde el taxonomista biológico al lógico; y, además, muchas de las paradojas lógicas —desde la de «el cretense que dice que todos los cretenses son mentirosos» a la de Russell de «clase de todas las clases»— son totalmente inclasificables<sup>7</sup>.

4. De la clasificación taxonómica a la lógica. La búsqueda de un principio universal de clasificación llevó a los filósofos griegos a investigar el carácter de las nociones y la relación existente entre las mismas. A partir de estas tareas intelectuales, surgió la Lógica, lo que marcó el final de un proceso dilatado y difuso. En una época tan temprana como a comienzos del siglo VI antes de J. C., se llevaban a cabo ya pruebas lógicas de proposiciones geométricas. Ahora bien, ni siquiera Platón, maestro de Aristóteles, tenía idea alguna del silogismo; se refirió a proposiciones científicas a partir de algunas verdades básicas, pero hasta Aristóteles no apareció un claro esbozo del edificio lógico del conocimiento<sup>8</sup>. Y lo más importante es que el propio Aristóteles se inspiraba en ciertos *Elementos de Geometría* que existían

tían en su época y que han llegado hasta nosotros de la mano de Euclides en una forma muy refinada<sup>9</sup>. Una vez más, el nacimiento de algo —en este caso, la primera ciencia teórica— precedió a su descripción conceptual.

No es preciso decir que el edificio teórico de la geometría —en su acepción etimológica— no se erigió en un solo día y, dado que nadie tenía una idea definida de lo que iba a ser el resultado final, sus constructores debieron haber estado guiados por otros objetivos. En la tradición característica del pensamiento griego, los pensadores abstractos buscaban cierto Primer Principio. Por otra parte, podemos suponer plausiblemente que los *arpedonaptés*, los agrimensores del antiguo Egipto, debían haber observado más pronto o más tarde que, una vez que puede recordarse, por ejemplo, que

A. *La suma de los ángulos de un triángulo es dos ángulos rectos,*

no es preciso memorizar también la proposición

B. *La suma de los ángulos de un cuadrilátero convexo es cuatro ángulos rectos.*

De esta manera y aunque inconscientemente, los *arpedonaptés* empezaron a utilizar el algoritmo lógico mucho antes de que se escribieran los primeros *Elementos de Geometría*, gracias simplemente a que el mecanismo les ahorra esfuerzos de memorización. Sin ese aspecto económico, el algoritmo lógico hubiera seguido siendo muy probablemente una noción tan esotérica como la Primera Causa, por ejemplo.

En la actualidad, la relación existente entre el algoritmo lógico y la ciencia teórica parece muy simple. De acuerdo con una clasificación lógica, todas las proposiciones,  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , ya establecidas en un campo determinado de conocimiento pueden separarse en dos clases ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ), tal que

(1) *toda proposición  $\beta$  se derive lógicamente de algunas proposiciones  $\alpha$ , y*

(2) *ninguna proposición  $\alpha$  se derive de otra proposición  $\alpha^0$ .*

Esta clasificación lógica representa el mecanismo interno a cuyo través se construye y mantiene una teoría científica. En consecuencia, la ciencia teórica es un catálogo que enumera las proposiciones lógicas conocidas en un orden lógico, en el sentido de distinto del taxonómico o lexicográfico. En otras palabras, tenemos una primera ecuación

«Ciencia teórica» = «Descripción lógicamente ordenada».

En realidad, la economía lógica no se detiene aquí. Con frecuencia, algunas proposiciones especulativas se «elaboran» y se añaden a ( $\alpha$ ) con el

<sup>5</sup> Véase W. D. Ross, *Aristotle* (3.<sup>a</sup> edición, Londres, 1937), p. 44.

<sup>6</sup> Para que ( $\beta$ ) no sea un conjunto nulo, las proposiciones  $P_1, P_2, \dots, P_n$  no deben ser totalmente circulares. Por ejemplo, nuestro conocimiento objetivo no debería consistir solamente en: iluminación es luz; luz es electricidad; electricidad es iluminación. Esta necesidad puede justificarse la tradicional aversión que los hombres de ciencia manifiestan hacia las argumentaciones circulares.

<sup>5</sup> Platón, *Sophist*, pp. 219, 253; *Statesman, passim*; Aristóteles, *De Partibus Animalium*, I, 2-4.

<sup>6</sup> Véase Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), p. 35; David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957), pp. 122 y s.

<sup>7</sup> El punto anterior está admirablemente enfocado por Henri Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays* (Nueva York, 1963), pp. 45-55.

<sup>8</sup> Platón, *Republic*, VII, 533; Aristóteles, *Analytica Posteriora*, I, 1-6.

fin de trasladar otras tantas proposiciones  $\alpha$  a ( $\beta$ ). Así pues, ( $\alpha$ ) se sustituye por ( $\omega$ ), teniendo esta última las mismas propiedades y la misma relación con la nueva ( $\beta$ ) que la que tenía ( $\alpha$ ). La única diferencia consiste en que ( $\omega$ ) contiene algunas proposiciones no observables, es decir, algunos primeros principios, pero esto no afecta a la validez de la ecuación escrita anteriormente<sup>11</sup>.

5. *Ciencia teórica y economía de pensamiento*. Al clasificar el conocimiento de manera lógica no lo aumentamos; únicamente llevamos a sus límites más extremos la ventaja económica del algoritmo lógico. Evidentemente, las proposiciones  $\omega$  de cualquier ciencia contienen, explícita o implícitamente, todo el conocimiento existente en un campo determinado. Así pues, estrictamente hablando, para almacenar todo lo que ya se conoce en un campo solamente precisamos memorizar ( $\omega$ ), esto es, lo que actualmente denominamos el fundamento lógico de la ciencia correspondiente. Para estar totalmente seguro, un científico memoriza también habitualmente algunas proposiciones  $\beta$ , pero sólo porque cree conveniente disponer de acceso inmediato a las proposiciones más frecuentemente precisadas en el ejercicio cotidiano de su profesión. La cuestión más importante es que, a pesar de que el volumen de información objetiva se ha ido extendiendo constantemente, se ha ido reduciendo día a día la incomodidad de su tratamiento, debido precisamente al cada vez más creciente número de campos —fragmentarios, en todo caso— que se han ido sometiendo al poder de la comprensión teórica. Como lo expresó perfectamente P. B. Medawar, «en todas las ciencias nos vemos progresivamente liberados de la carga de casos singulares, de la tiranía de lo particular. No necesitamos consignar más la caída de cada manzana»<sup>12</sup>.

Puede parecer como si los filósofos griegos hubieran estado preocupados por cuestiones etéreamente abstractas y por problemas pragmáticamente inútiles. Sin embargo, en las profundas aguas de su lucha intelectual se hallaba la necesidad de clasificar el conocimiento de forma que pudiese ser comprendido por la mente de cualquier individuo. Los héroes de la batalla podrían no haber sido conscientes de las implicaciones económicas de esa necesidad, ni siquiera de la misma necesidad, de igual modo en que nadie parece haber hecho ningún caso de la inmensa economía producida por el cambio de la escritura ideográfica a la alfabética, ni cuando tuvo lugar el cambio ni, menos aún, antes del mismo. En términos generales, las necesidades creadas por la evolución nos orientan, por así decirlo, en silencio; rara vez, por no decir jamás, nos damos cuenta de su

<sup>11</sup> Dado que en el uso corriente «ciencia teórica» y, en especial, «teoría» tienen acepciones muy clásicas, para ahorrar al lector posibles dificultades posteriores quiero subrayar que «ciencia teórica» se emplea a lo largo de este libro en el sentido definido por esa ecuación.

<sup>12</sup> Citado en *The Listener*, 18 de mayo de 1967, p. 647.

influencia sobre nuestra compleja actividad (o incluso de su existencia). Sólo después de mucho tiempo comprendemos por qué trabajamos y qué estamos buscando; sólo después de suceder los hechos podemos decir con Oswald Spengler que «una tarea impuesta por la necesidad histórica será realizada con el individuo o contra él»<sup>13</sup>.

A la vista de todo ello, no es sorprendente que el aspecto económico de la ciencia teórica permaneciese totalmente inadvertido hasta 1872, año en el que por vez primera Ernst Mach afirmó que la ciencia «es experiencia dispuesta en orden económico»<sup>14</sup>.

Para hablar de la economía del pensamiento lograda a través de la ciencia teórica, hay que poner primero de manifiesto que la memorización es un esfuerzo intelectual más costoso que el raciocinio. Evidentemente, esto no le parece cierto a una gran mayoría de humanos: hasta los estudiantes universitarios prefieren mayoritariamente los cursos descriptivos, en los que debe memorizarse el conocimiento que se presenta taxonómicamente, a aquellos en los que se le clasifica de modo lógico. Además, la memoria y el raciocinio son capacidades que pueden mejorarse con el adiestramiento y éste, a su vez, puede poner el acento en una u otro, según sea la tradición cultural. Año tras año, la memoria de los estudiantes chinos y japoneses ha estado sometida a un adiestramiento continuo sin paralelo alguno en el mundo occidental y continuará siendo así en tanto tengan que aprender de memoria miles de caracteres ideográficos; pero, al final, hasta los estudiantes chinos y japoneses han de sucumbir bajo la presión de la memoria. Por muy estrecho que sea el campo que se ha elegido, en la actualidad nadie puede soñar con memorizar la inmensa cantidad de conocimiento objetivo, de la misma manera que nadie puede esperar llegar a la luna en un globo corriente. Al memorizar sólo una parte del conocimiento objetivo, se puede tener éxito como artesano, mas no como persona erudita.

Pero en la evolución no hay nada general o definitivo. Puede ser que los seres racionales de otros sistemas solares tengan sus cerebros contruidos de tal modo que la memoria sea para ellos un factor relativamente li-

<sup>13</sup> Oswald Spengler, *The Decline of the West* (2 vols., Nueva York, 1928), II, p. 507. Entre paréntesis, pero de modo oportuno, podría especularse que los actuales programas espaciales demostrarían en algún futuro lejano haberse correspondido con la necesidad de ocuparse de una población explosiva.

<sup>14</sup> Ernst Mach, *Popular Scientific Lectures* (Chicago, 1895), p. 197 y *passim*. Véase también su *The Science of Mechanics* (La Salle, Ill., 1942), pp. 578-596. La misma idea se elaboró con mucha mayor intuición por Karl Pearson, *The Grammar of Science* (ed. de Everyman's Library, Londres, 1937), pp. 21, 32 y *passim*.

Sin embargo, Mach hizo poco o nada fuera del orden lógico sino que, antes bien, puso de relieve el alivio que proporcionaban a la memoria las tablas numéricas y el simbolismo matemático. Ahora bien, las efemérides existían mucho antes de que la mecánica llegase a ser una ciencia teórica y la tabla de multiplicar ha sido siempre sólo una regla mnemotécnica. La economía del pensamiento deparada por tablas y símbolos debería atribuirse a la invención de la escritura antes que a cualquier otra cosa.

bre, con lo que para tales seres la ciencia teórica podría ser verdaderamente antieconómica. Por otra parte, hay que esperar que con el transcurso del tiempo cambie hasta la estructura de la ciencia en nuestro planeta. En este sentido, podemos vislumbrar ya algo, aunque sea vagamente, de su próxima mutación, una vez que los cerebros electrónicos se hayan hecho cargo por completo de la memorización, del recuerdo de todo lo aprendido, de la clasificación y del cálculo, operaciones todas ellas que pueden realizar a una velocidad fantástica y a mucha mayor escala que la mente humana.

En cualquier caso, no debemos dar por sentado que, una vez libre de esos quehaceres, la mente humana vaya a ser forzosamente capaz de emplear con mayor facilidad y eficiencia sus facultades creativas para descubrir las regularidades de la realidad y la ficción, para idear nuevos conceptos con los que sintetizar en un solo fundamento lógico hechos aparentemente diversificados, para formular y demostrar proposiciones válidas para un sinnúmero de situaciones, etc.<sup>15</sup> En efecto, a la vista de lo que sucede actualmente a nuestro alrededor, la mente humana parece más bien hundirse ante la inmensa marea de resultados producidos a velocidad electrónica por el ejército de ordenadores. Además, ¿no es cierto —al menos en el campo de la economía— que no se ha llevado a cabo prácticamente ninguna obra sintética entre las miles de tesis doctorales que, desde el advenimiento de los centros de informática, se han seguido ocupando de otros problemas? Es difícil ver cómo incluso un Adam Smith o un Karl Marx podrían encontrar su camino en semejante jungla de los denominados hechos analizados, y, como lo ha puesto recientemente de manifiesto un famoso director de investigaciones, puede que la situación no sea diferente vista desde el otro lado de la barrera: una importante organización se dio cuenta de pronto de que «su amplio programa de investigación "aplicada" había demostrado ser ineficaz para extender su ámbito de influencia [y decidió] crear un programa multimillonario de investigación "básica"»<sup>16</sup>. Parece, por tanto, que, solamente con su presencia, los ordenadores nos inducen a seguir registrando la caída de otra manzana. Además, incluso esos

<sup>15</sup> El Capítulo III, Sección 10, considera mejor este punto, pero es más conveniente referirse ahora a una extendida falacia sobre la superioridad de los ordenadores. Pese a ser limitada (como ya he dicho), la capacidad memorizadora del cerebro es relativamente muy superior a la de los ordenadores. El que pese a ello tengamos la impresión contraria se debe únicamente a que desconocemos cuánto ha de memorizar el cerebro para que el individuo no se halle perdido en su propia vida como si fuese un recién llegado a una metrópoli. Un hombre debe recordar, al menos durante algún tiempo, hasta lo que tomó para desayunar y cuál era su sabor. Esta es la razón por la que su cerebro está constituido de tal modo que encuentra absurdo memorizar toda una tabla de logaritmos, en tanto que no sucede así en el caso del ordenador.

<sup>16</sup> J. R. Pierce, «When Is Research the Answer?», *Science*, 8 de marzo de 1968, p. 1.079. Pierce, que parece ser fervoroso partidario de la supremacía de la investigación «aplicada», culpa a los científicos de la Naturaleza de esa organización (a la que no nombra en absoluto) de no hacer «su trabajo cotidiano bien y cuidadosamente»; pero, como también he indicado, hasta un Newton podría ser incapaz de llegar a síntesis alguna bajo un diluvio de detalles.

registros tienden a hacerse cada vez más falsos, pues el fácil acceso a los centros informáticos hace que los estudiantes presten todavía menor atención que antes a lo apropiado de las herramientas estadísticas empleadas para contrastar sus modelos concretos<sup>17</sup>.

Sin embargo, el mayor peligro de una época en la que reproducir la caída de cada manzana a través de un colosal sistema de ecuaciones pasa por ser el sello característico de la profesión académica, y en la que todo un día de trabajo significa traspasar el problema a un ordenador, consiste en que hasta los potenciales Newtons se ven disuadidos a interesarse por la síntesis. La observación de Ruth Davis de que hoy en día se dedican mayores esfuerzos a mejorar los ordenadores que a perfeccionar la mente humana tiene que haber sido mal recibida por los restantes miembros del Simposio de Washington sobre Aumento por Ordenador del Razonamiento Humano<sup>18</sup>. La disposición de esta época no se inclina a escuchar verdades como ésta, con el resultado de que la ciencia parece encontrarse ahora en un círculo vicioso. La escasez de trabajos sintéticos nos hace creer que no hemos analizado un número suficiente de hechos, pero, al suministrar aún más hechos específicos, no hacemos sino dificultar cada vez más la labor sintetizadora. Considérese lo siguiente: la revista *Chemical Abstracts* correspondiente al año 1949 (cuando la carga debe haber sido menos aplastante que hoy en día) incluía no menos de 70.000 documentos que proponían información sobre 220.000 cuestiones científicas. Pauling calcula que, en el conjunto de las ciencias de la Naturaleza, el número de «nuevos hechos científicos» constatados cada año puede ascender a un millón<sup>19</sup>. Como consecuencia de todo ello, podemos prever ciertas reacciones de rechazo antes de que la ciencia haya absorbido por completo el trasplante de su propia creación: los autómatas de todo tipo.

6. *Diferencias significativas entre Oriente y Occidente*. Descritos en un orden lógico, los hechos forman un tejido totalmente diferente del que muestra la descripción taxonómica, razón por la que está justificado decir que con los *Elementos* de Euclides la *causa materialis* de la geometría sufrió una transformación radical: a partir de un conjunto de proposiciones más o menos amorfo, adquirió una estructura *anatómica*. Como por otro lado voy a explicar ahora, la geometría por sí misma apareció como organismo vivo junto a su propia fisiología y teleología, y esa auténtica mutación representa no sólo la más valiosa contribución de la civilización griega al pensamiento humano sino también un hito trascendental en la evolución

<sup>17</sup> Véase mi trabajo «Further Thoughts on Corrado Gini's *Delusioni dell'econometria*», *Metron*, XXV (1966), pp. 265-279.

<sup>18</sup> *Symposium on Computer Augmentation of Human Reasoning*, eds. Margo A. Sass y W. D. Wilkinson (Washington, 1965), p. 152.

<sup>19</sup> Linus Pauling, «The Significance of Chemistry», *Frontiers in Science: A Survey*, ed. E. Hutchings, Jr. (Nueva York, 1958), pp. 279 y s.

de la humanidad, únicamente comparable al descubrimiento del lenguaje y de la escritura.

Al evocar la evolución del pensamiento griego, se tiene la tentación de concluir que la aparición de la ciencia teórica fue un resultado normal, casi necesario, de la Lógica. Sin embargo, no deberíamos engañarnos; tanto la civilización india como la china llegaron a una lógica propia —en algunos aspectos incluso más refinada que la de Aristóteles<sup>20</sup>—, pero ninguna de ellas llegó a darse cuenta de su utilidad para clasificar el conocimiento objetivo. Por consiguiente, la ciencia nunca fue en Oriente más allá de la fase taxonómica. Así pues, la cultura griega debe haber tenido alguna característica específica de la que carecía el Oriente, pues de lo contrario no podría explicarse la diferencia existente en el desarrollo de la ciencia en Oriente y Occidente.

No es difícil autoconvencernos de que la marca de nacimiento de la filosofía griega es la creencia en una Primera Causa de carácter no divino. Ya a comienzos del siglo VI antes de J. C., Tales, sabio de gran y diverso talento, enseñaba que «el agua es la causa material de todas las cosas»<sup>21</sup>. Para descubrir la Primera Causa, antes o después hay que preguntarse por la causa próxima y, así, sólo una generación después de Tales hallamos a Anaximandro explicando de forma bastante moderna que la Tierra «se encuentra donde está [sostenida por nada] como consecuencia de su equidistancia de todo»<sup>22</sup>.

Otras civilizaciones pueden haber llegado a las nociones de causa y efecto, pero sólo a la de la Antigua Grecia se le ocurrió (y casi desde el principio) la idea de la causalidad como algoritmo de doble sentido: con excepción de la Primera Causa, todo tiene una causa y un efecto. Ahora bien, debido a su supremo interés por la Primera Causa, los pensadores griegos enfocaron su atención en la causa antes que en el efecto<sup>23</sup>. Como sabemos, Aristóteles trató una y otra vez la noción de causa hasta que descubrió cuatro formas de ella<sup>24</sup>.

La búsqueda de la causa inmediata llegó a ser considerada cuando menos una de las más nobles actividades del espíritu, inferior únicamente a la búsqueda de la Primera Causa. El recuerdo de los hechos —afirman los

griegos— es semiconocimiento, esto es, mera *opinión*; el verdadero conocimiento, es decir, el *entendimiento*, incluye también conocer la *causa rerum*. Esta opinión había ganado ya tanto terreno en tiempos de Platón que Aristóteles no tuvo ninguna dificultad para establecerla como dogma incuestionable<sup>25</sup>. No hay exageración alguna al decir que el rasgo distintivo del pensamiento griego fue su obsesiva preocupación por el «¿por qué?».

En todo caso, esa obsesión no basta por sí sola para explicar el matrimonio de Lógica y ciencia en el pensamiento griego. La unión fue posible gracias a una peculiar confusión entre «el por qué» y «la razón lógica», esto es, entre la *causa efficiens* y la *causa formalis*. El síntoma se hace evidente al reconciliarlas Aristóteles en sus cuatro tipos de causas<sup>26</sup>, e incluso aún más en nuestro empleo de «explicación» en dos sentidos distintos, relacionado cada uno de ellos con una de las *causae* recién mencionadas<sup>27</sup>. Si por casualidad la Lógica se hubiese aplicado primero a construir la ciencia teórica en otro campo distinto de la geometría —donde las cosas no se mueven ni cambian sino que simplemente son—, la guerra actualmente desencadenada entre positivistas lógicos y realistas habría estallado con toda probabilidad inmediatamente después de los primeros *Elementos*.

En nuestra calidad de partícipes del pensamiento occidental, tenemos tendencia a creer que la causalidad representa, si no una forma *a priori* en el sentido kantiano, al menos una de las más tempranas nociones inevitablemente comprendidas por el hombre primitivo<sup>28</sup>. A pesar de ello, la crudeza de la realidad es que, a diferencia de la civilización griega, las antiguas culturas de Asia nunca desarrollaron la idea de causalidad<sup>29</sup>, por lo que les resultó imposible unir el silogismo lógico al algoritmo causal y organizar así teóricamente el conocimiento objetivo. Sin embargo, no podemos culpar únicamente a la ausencia de conocimiento teórico del hecho muy conocido de que, a lo largo de los dos últimos milenios, el conocimiento objetivo haya progresado poco en Oriente, si es que lo ha hecho, a pesar de la ventaja sustancial que tenía al principio sobre Occidente<sup>30</sup>; otros factores han incidido también con fuerza en la balanza.

Mientras que en Grecia los filósofos buscaban la Primera Causa, en la India, por ejemplo, dirigían sus esfuerzos a descubrir la Esencia Absoluta

<sup>25</sup> Véase Platón, *Meno*, p. 81-86, *Theaetetus*, pp. 201 y ss.; Aristóteles, *Analytica Posteriora*, 78<sup>a</sup> 23, 88<sup>b</sup> 30, 94<sup>a</sup> 20, *Physics*, 194<sup>b</sup> 15.

<sup>26</sup> Así, Aristóteles comienza la Sección iii de *Physics*, II, con la observación de que hay «muchos sentidos [en el hecho de que] "porque" pueda responder a "por qué"». Véase también *Metaphysics*, I.013<sup>b</sup> 3-4.

<sup>27</sup> Véase John Stuart Mill, *A System of Logic* (8<sup>a</sup> edición, Nueva York, 1874), pp. 332 y ss.

<sup>28</sup> Por ejemplo, Mach, *Lectures*, p. 190.

<sup>29</sup> Véase Junjuro Takakusu, «Buddhism as a Philosophy of "Thuness"», en *Philosophy: East and West*, ya citado, pp. 74 y ss.

<sup>30</sup> El interés por esta diferencia no es en absoluto nuevo: véase G. W. F. Hegel, *Lectures on the Philosophy of History* (Londres, 1888), pp. 141 y ss.

<sup>20</sup> Por ejemplo, la lógica oriental exigía que la premisa del silogismo incluyese un ejemplo, de forma que se eliminase la vacuidad: «Donde hay humo, hay fuego, como en la cocina» (véase Chan Wing-tsit: «The Spirit of Oriental Philosophy», en *Philosophy: East and West*, ed. Charles A. Moore, Princeton, 1944, p. 162). Sin embargo, la lógica de Oriente se desarrolló sobre todo a lo largo de líneas altamente dialécticas (Chan Wing-tsit, «The Story of Chinese Philosophy», *op. cit.*, pp. 41 y ss.).

<sup>21</sup> J. Burnet, *Early Greek Philosophy* (4<sup>a</sup> edición, Londres, 1930), p. 47.

<sup>22</sup> *Ibid.*, p. 64.

<sup>23</sup> La primera formulación del principio de causalidad de que se tiene constancia (hecha por Leucipo, a mediados del siglo V antes de J. C.) habla por sí misma: «Nada sucede de forma gratuita, sino todo por una razón y por necesidad». *Ibid.*, p. 340.

<sup>24</sup> *Physics*, II, 3; *Metaphysics*, I, 3, 10; V, 2.